



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

선박조종 시뮬레이션을 통한 VLCC의 인천북항
입출항 안전성에 관한 연구

A Study on the Traffic Safety of VLCC for Incheon
North Port by Using Ship Handling Simulation

指導教授 金世源



2014年 6月

韓國海洋大學校 大學院

航海學科

崔允禎

본 논문을 최윤정의 공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장 박 영 수 교수 (인)

위원 이 윤 석 교수 (인)

위원 김 세 원 교수 (인)



2014年 6月

韓國海洋大學校 大學院

목 차

List of Tables	iv
List of Figures	vi
Abstract	viii

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 방법 및 내용	3

제 2 장 인천항의 자연환경 조사 분석

2.1 기상환경 조사 분석	5
2.1.1 바람	5
2.1.2 강수	6
2.1.3 해면기압	6
2.1.4 현상일수	7
2.1.5 태풍	7
2.2 해상환경 조사 분석	10
2.2.1 조위	10
2.2.2 조류	10
2.2.3 파랑	13
2.3 항만현황 조사	14
2.3.1 항로	14
2.3.2 정박지	16

제 3 장 인천항의 입출항 항로

3.1 항로설계기준 평가	18
3.1.1 수역시설에 대한 국내·외 기준	18
3.1.2 수역시설에 대한 적합성 검토	26

제 4장 VLCC의 조종특성

4.1 천수영향과 VLCC의 선체운동	30
4.1.1 천수의 영향	30
4.1.2 선저 여유 수심	34

4.1.3 천수에서의 선체운동	36
4.2 314K DWT급 실제 VLCC의 조종성능 시운전 자료	39
4.2.1 선박제원	39
4.2.2 선회권 시험	39
4.2.3 10/10~20/20도 Zig-Zag 시험	40
4.2.4 Crash Stop Astern 시험	41
4.2.5 Initial turning ability trial(Stb'd)	41
4.3 300K DWT급 모델선박 VLCC의 조종성능 특성	42
4.3.1 선박제원	42
4.3.2 심수역에서의 선박의 조종성능	43
4.3.3 천수에서의 선박의 조종성능	50
4.3.4 실제선박과 모델선박의 조종성능 비교 평가	56

제 5장 VLCC의 인천항 통항 시뮬레이션 평가

5.1 선박조종 시뮬레이션 소개	58
5.1.1 선박조종 시뮬레이터	58
5.1.2 시뮬레이션 데이터베이스	58
5.2 선박조종 시뮬레이션 평가방법	60
5.3 선박조종 시뮬레이션 수행	63
5.3.1 시뮬레이션 대상선박 설정 및 모델링	63
5.3.2 시뮬레이션 환경조건 설정	64
5.3.3 시뮬레이션 시나리오 설정	65
5.3.4 대상수역의 항만 모델링	65
5.4 통항 및 돌핀접근 안전성 평가 결과	70
5.4.1 부도등대 부근해역 통항 시뮬레이션 평가	70
5.4.2 백암등대 부근해역 통항 시뮬레이션 평가	72
5.4.3 북장자서 부근해역 통항 시뮬레이션 평가	73
5.4.4 인천대교 통과 입항 시뮬레이션 평가	75
5.4.5 SK에너지 돌핀부근 입항 시뮬레이션 평가	75
5.4.6 VLCC의 인천항 안전입항을 위한 시뮬레이션 종합평가	77
5.5 비상상황시의 인천대교 통항 안전성 시뮬레이션 및 평가	78
5.5.1 비상상황을 대비한 호위선박의 타력제어 및 회두제어	78
5.5.2 VLCC 비상상황 선박조종 시뮬레이션 조건	80
5.5.3 입항시 VLCC 비상상황 선박조종 시뮬레이션 평가결과	81

제 6장 결론	85
감사의 글	90
참고문헌	91



List of Tables

Table 2.1 Monthly wind speed and wind direction	5
Table 2.2 Maximum wind speed by wind direction	5
Table 2.3 Percentage of the number of observations by wind direction	6
Table 2.4 Monthly rainfall	6
Table 2.5 Monthly sea surface pressure	6
Table 2.6 Days of symptoms appearing	7
Table 2.7 Hurricane impact on incheon port	8
Table 2.8 Tide in incheon port	10
Table 2.9 Maximum tide speed in incheon	12
Table 2.10 Deep sea design wave 1	13
Table 2.11 Deep sea design wave 2	13
Table 2.12 Shallow sea design wave	14
Table 2.13 Incheon port anchorage status	16
Table 2.14 Kyungin port anchorage status	17
Table 2.15 Waiting anchorage status for arrival/departure	17
Table 3.1 General criteria for the fairway width	20
Table 3.2 Fairway width	21
Table 3.3 Target vessel specifications	26
Table 3.4 Fairway depth	27
Table 3.5 Fairway width	27
Table 3.6 Required turning circle on fairway design criteria for 30 DWT	28
Table 3.7 Dredging amount and dredging area	29
Table 3.8 Calculation of considered item for bridge type	29
Table 4.1 The clearance depth limit of the countries	35
Table 4.2 Condition : Design draft condition	39
Table 4.3 Turning trial result	40
Table 4.4 Condition : Design draft condition	40
Table 4.5 Zig-Zag trial(10-10) result	40
Table 4.6 Zig-Zag trial(20-20) result	41
Table 4.7 Condition : Design draft condition	41
Table 4.8 Crash stop astern trial result	41
Table 4.9 Condition : Design draft condition	42

Table 4.10	Initial turning ability trial result (STBD)	42
Table 4.11	Engine telegraph table	43
Table 4.12	Basic parameters (Turning circle 35° STBD)	44
Table 4.13	Basic parameters (Turning circle 20° STBD)	45
Table 4.14	Basic parameters (Accelerating turn 20° STBD)	46
Table 4.15	Basic parameters (Zig zag 10/10 deg)	47
Table 4.16	Basic parameters (Zig zag 20/20 deg)	48
Table 4.17	Basic parameters (Initial trun ability)	49
Table 4.18	Basic parameters (Pullout)	49
Table 4.19	Basic parameters (Spiral test)	50
Table 4.20	Basic parameters (Turning circle 35° STBD)	51
Table 4.21	Basic parameters (Turning circle 20° STBD)	52
Table 4.22	Basic parameters (Accelerating turn 20° STBD)	53
Table 4.23	Basic parameters (Zig zag 10/10 deg)	54
Table 4.24	Basic parameters (Zig zag 20/20 deg)	55
Table 4.25	Basic parameters (Spiral test)	56
Table 5.1	Based on the ship's maneuverability	60
Table 5.2	Ship operation's subjective ratings	63
Table 5.3	Target ship specifications	64
Table 5.4	Environment variables of ship maneuvering simulation	64
Table 5.5	Scenario of ship maneuvering simulation	65
Table 5.6	The condition of ship handling simulation	70
Table 5.7	Proximity and passing speed when passing Budo Lighthouse	71
Table 5.8	Proximity and passing speed when passing Baekam Lighthouse ..	72
Table 5.9	Proximity and passing speed when passing Bukjangjaseo	74
Table 5.10	Proximity and passing speed when passing Incheon Bridge	75
Table 5.11	Proximity and passing speed when passing SK Dolphin	76
Table 5.12	Safety evaluation of 5 weak waters	78
Table 5.13	The size of ship and tug power according to the ship's type	79
Table 5.14	The size of tanker and the size of turning power per angle	80
Table 5.15	Scenario of ship maneuvering simulation of emergency	81
Table 5.16	In case of emergency when passing Incheon Bridge	84

List of Figures

Fig. 1.1 Method for the study	4
Fig. 2.1 Typhoon route map	9
Fig. 2.2 Tide map	12
Fig. 2.3 Navigation route status in incheon port	15
Fig. 2.4 Anchorage status in incheon port	17
Fig. 3.1 Standard for fairway width (American standard)	19
Fig. 3.2 Size of turning circle (PIANC Rule)	24
Fig. 3.3 Design standards of turning waters in American	25
Fig. 3.4 Turning waters and additional dredging location	28
Fig. 4.1 Changes of water pressure in shallow water	32
Fig. 4.2 Ship's sinking and changes of draft in shallow water	33
Fig. 4.3 Changes of trim of VLCC in shallow water	33
Fig. 4.4 Various elements for the decision of the clearance depth	35
Fig. 4.5 Ship images	43
Fig. 4.6 Track plot(s) with ship outline when course is 90,180,270	44
Fig. 4.7 Track plot(s) with ship outline when course is 90,180,270	45
Fig. 4.8 Track plot(s) with ship outline when course is 90,180,270	46
Fig. 4.9 Track plot(s) with ship outline when course is 90,180,270	47
Fig. 4.10 Track plot(s) with ship outline when course is 90,180,270	48
Fig. 4.11 Track plot(s) with ship outline when course is 90,180,270	49
Fig. 4.12 Spiral test result	50
Fig. 4.13 Track plot(s) with ship outline when course is 90,180,270	51
Fig. 4.14 Track plot(s) with ship outline when course is 90,180,270	52
Fig. 4.15 Track plot(s) with ship outline when course is 90,180,270	53
Fig. 4.16 Zig zag 10/10 result	54
Fig. 4.17 Zig zag 20/20 result	55
Fig. 4.18 Spiral test result	56
Fig. 5.1 Ship building concept map in the simulation	59
Fig. 5.2 The geometric probability of collision pier	62
Fig. 5.3 Target shipping 3-D image	64
Fig. 5.4 Chart of Budo Lighthouse near	66
Fig. 5.5 Tide condition of Janganseong ~ Budo Lighthouse	66

Fig. 5.6 Chart of Baekam Lighthous near	67
Fig. 5.7 Tide condition of Budo Lighthouse ~ Baekam Lighthous	67
Fig. 5.8 Chart of Bukjangjaseo near	67
Fig. 5.9 Tide condition of Bukjangjaseo ~ Palmido	67
Fig. 5.10 Chart of Palmido near	68
Fig. 5.11 Tide condition after passing Palmido	68
Fig. 5.12 Chart of Incheon Bridge near	69
Fig. 5.13 Chart of SK energy Dolphin near	70
Fig. 5.14 Case 2-1 Fairway of Incheon bridge ~ Floodgate	82
Fig. 5.15 Case 2-2 Fairway of Incheon bridge ~ Floodgate	83

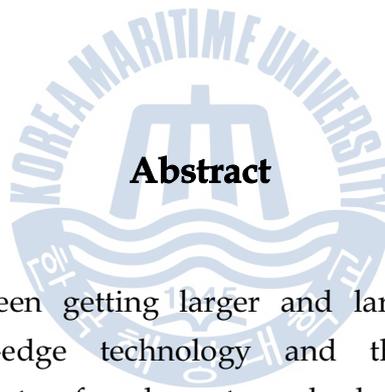


A Study on the Traffic Safety of VLCC for Incheon North Port by Using Ship Handling Simulation

Choi, Youn Jung

Department of Navigation Science

The Graduate School of Korea Maritime and Ocean University



Abstract

Recently, ships have been getting larger and larger in size thanks to the development of cutting-edge technology and the shipbuilding industry. Accordingly, the traffic route of each port needs deeper water level and wider fairway width while port areas demand bigger facilities.

As ships become larger, mutual intervention increases between the ships departing and arriving at the port, whereas ship handling performance declines due to deep drafts. The challenge of ensuring safe ship operation reveals the limitations of countermeasures during emergency cases.

The north port of Incheon is specifically famous for its strong current, narrow fairway, and many curved fairways, which are brought about by its geographical structure where many islands exist around the fairway. Therefore, the maximum size of a calling vessel has been restricted to full-loaded 70K DWT Panamax vessels until now although half cargo-loaded VLCC will call the port in the future.

This study reviewed the surrounding conditions of the Dongsudo fairway in various ways and evaluated arrival and departure safety in consideration of the VLCC's maneuvering characteristics through ship handling simulation.

For study method, Incheon North Port's five weak waters around Budo, Baekam Lighthouse, Bukjangjaseo, Incheon Bridge, and SK Dolphin were set based on ship handling simulation results conducted in the VLCC arrival and departure familiarization training course for Incheon Port pilots using "the marine transportation safety diagnosis research to enhance SK Energy/Incheon CLX No. 3 Wharf berth capabilities" conducted in 2013. This study analyzed and evaluated proximity and passing speed in the five weak waters by setting them as evaluation factors.

This study presents the standard of safe passing by evaluating the passing handling status of the VLCC based on the data implemented in a virtual space using a simulator. However, the findings of this study cannot be used as the basis to judge the status of mistakes/errors on the ship handling accidents of similar ships because the standard cannot be absolute.

Many difficulties exist in patternizing, standardizing, and making numerical values of ship piloting since ship piloting is a highly subjective work. However, the analyzed and evaluated data indicate the average data of many results, which can show a pattern.

Consequently, the data analyzed in this study are expected to be effectively utilized in the VLCC's calling at the Incheon North Port.

KEY WORDS : The north port of Incheon, VLCC(Very large crude carrier), Simulator, Half loading, Traffic Safety of VLCC, proximity, passing speed.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

오늘날 첨단 과학기술의 발전과 함께 조선 산업의 발달에 힘입어 선박의 대형화가 급속히 진행되고 있으며, 이러한 선박의 거대화에 따라서 각 항만의 입출항 항로는 더욱 깊은 수심과 더 넓은 항로폭을 필요로 하고 또한 항만시설물들은 보다 대형화를 요구하고 있다. 이러한 항만시설의 확장은 지형적인 제약과 엄청난 자금소요로 인하여 제대로 이루어지지 못하면서 통항선박의 안전성에 많은 위해요소로 작용하고, 시설물들은 상대적으로 축소되는 상황을 나타내고 있다고 말할 수 있다.

화물운송의 경제성 측면에 있어서도 소형선에 비하여 대형선의 화물운송 단위 비용이 훨씬 저렴하기 때문에 가능하면 대형선을 투입하여 선박의 입출항 횟수를 줄이고 비용절감을 꾀하고자 하는 것이다. 그러나 선장을 포함한 선박운항자 입장에서는 선박이 대형화될수록 출입항선 상호 간의 간섭이 증가하고, 심흘수화로 인한 조종성능의 저하와 비상시 대응책의 한계를 드러내는 등의 선박 안전운용의 문제점을 안고 있다고 할 수 있다. 또한 전반적인 선박 통항량의 증가는 거대형선이 부두전면에서 회두하거나 감속, 접근하는데 소요되는 시간에 따라서 항만의 효율성뿐만 아니라 주변수역의 안전에도 크게 영향을 미치고 있다고 할 수 있다. 이러한 선박의 대형화와 관련하여, 2014년 1월 31일에 광양항 부근에서 발생한 16만 총톤급 대형 유조선의 돌핀충돌사고에 따른 기름유출사고에서 알 수 있는 바와 같이 한 건의 해양사고 발생으로도 해양오염 및 인명, 선박의 피해는 상상을 초월할 정도로 막대하다는 것을 알 수 있다.

우리나라에서 VLCC(Very Large Crude Oil Carrier, 이하 VLCC)가 입출항하고 있는 항만으로는 울산항, 여수/광양항 그리고 대산항 정도이고, 이러한 항만에서도 대부분의 경우는 항만입구에 설치된 SBM(Single Buoy Mooring) 또는 전용돌핀에 접이안하여 하역작업을 수행하도록 되어있다. 이러한 VLCC가 항만 깊숙히 위치하는 접안 시설물에 입출항하는 경우와 관련하여 우리나라에서 연구 발표된 선행 연구로는 동북아 오일허브 울산지역 해상교통안전진단(한국해대, 2011년 3월), 항만기본계획 변경에 따른 울산신항개발 해상교통안전진단(한국해

대, 2013년 10월)이 있다. 그리고 20만 DWT(Deadweight tonnage)급 유조선의 돌핀 접안작업과 관련해서는 여수탱크터미널 해상교통안전진단 보고서(목포해대, 2010년 6월)가 있으며 여천항에서의 32만DWT급 원유운반선의 선박운항 안전성 평가(해양환경안전학회, 공인영 1997), 선박조종시뮬레이터를 이용한 울산항 원유부이시설의 안전성평가에 관한 연구(한국시뮬레이션학회, 정재용 2002)도 있다.

특별히 한국해대에서 울산항의 오일허브개발과 관련하여 30만 DWT급 VLCC 2척을 동시에 방파제 내의 오일허브부두에 접이안 작업이 가능한지를 검토하기 위하여 2013년에 연구용역을 수행한 적이 있다. 이 보고서에 따르면, 30만 DWT급 유조선의 시뮬레이션을 통한 항로진입 및 통항안전성 분석 결과, 2.0kts의 강한 횡방향의 조류와 해류 및 27kts의 바람의 영향 등 최악의 자연환경조건을 설정한 상황에서 만재상태의 VLCC는 조종성능의 특성상 일반적인 접근속력인 5kts 미만으로 운항시 횡압력에 따른 20°이상의 과도한 편각 발생으로 인하여 남방파제 진입이 곤란한 것으로 판단되었다. 또한 강한 횡조류 및 풍압력에 의한 선체의 횡압력에 대항하기 위하여 방파제 진입 선속을 7kts 정도로 증속 시에는 방파제 진입 후에 전진타력의 선속제어와 접안을 위한 선박정지거리 확보가 불가능하여 방파제 및 오일허브부두에 접안된 선박과 충돌하는 상황이 발생하였음을 알 수 있다. 따라서 VLCC는 항로폭 및 수심의 크기와 상관없이 항로의 지리적 위치의 영향을 많이 받음을 알 수 있다.

최근에는 인천항만을 보다 활성화하고 또한 경제적으로 선박을 운항하기 위하여 인천북항에서의 VLCC의 운용가능성을 검증하기 위한 해상교통안전진단 연구용역이 시행되었고, 그 결과에 따라서 수년 내에 반재(Half loading)한 상태의 VLCC가 인천항을 입출항할 것으로 판단된다. 그렇지만 인천항의 경우는 지리 위치적인 특성으로 인하여 조류가 아주 강하고, 또한 가항수역이 협소하여 지금까지 입출항이 가능한 최대선박은 7만 DWT급의 만재상태의 파나막스 정도로 알려져 왔다. 따라서 인천항에서의 보다 안전한 VLCC운항을 위해서는 항로 및 시설물 개선과 안전운항성 검증이 요구된다고 하겠다. 이를 위하여 'SK에너지/인천 CLX 제3부두 접안능력 증대사업 해상교통안전진단'(목포해양대학교, 2013)연구용역을 기초하여 인천항 도선사들의 인천항 동수도에서의 VLCC 통항안전성 친숙화를 위한 교육이 한국해대의 선박조종 시뮬레이터(Full-Mission Shiphandling Simulator)를 활용하여 수행되었다.

따라서 본 연구에서는 인천항 동수도 항로의 주변여건을 다각도로 검토하고, VLCC의 조종특성을 감안하여, 이 VLCC 통항안전성 친숙화교육을 통하여 축적된 선박조종 시뮬레이션 자료를 분석하여 표준조선모델과 통항안전성 요소들을 평가하고자 한다. 이를 위하여 VLCC선박의 입항항로에서의 취약수역 몇 곳을

설정하고 해상교통안전진단에서 규정하고 있는 안전성 평가요소들을 기준으로 분석하고자 한다. 또한 친숙화교육 과정에서 수행한 VLCC선박이 인천항만을 입출항함에 있어서 가장 취약한 항만내의 특정한 위치에서 본선의 장비상의 결함이 발생한 경우를 가상하여 안전하고 회복 가능한 조종의 한계를 감안하여 응급 조선에 대응하는 방안에 대하여 제안하고자 한다.

1.2 연구 방법 및 내용

본 연구는 목포해양대학교에서 2013년에 수행한 'SK에너지/인천CLX 제3부두 접안능력 증대사업 해상교통안전진단' 연구용역을 기반으로, 한국해양대학교가 보유하고 있는 선박조종 시뮬레이터를 이용하여 인천동수도 항로에서의 VLCC 통항친숙화를 위한 '인천항도선사 특별 연수과정'을 통하여 수행한 인천항 입항항로에서의 VLCC의 통항조종자료를 기초로 하였다.

이 통항 시뮬레이션은 인천도선사협회가 주관하여 현직의 도선사 40명이 참여하였으며, 이용한 대상선박은 약 35만(350K) DWT급 유조선으로 선박조종 시뮬레이터 제작사에서 제공한 VLCC의 표준선형이다. 이 선박제원은 DWT 350,000톤, LOA(length over all) 332m, B(Beam) 58m, D(Depth) 50m, 엔진마력 23,493HP이지만, 인천항 항로조건을 감안하여 입항시의 최대흘수 13.5m, 배수량 209,500톤으로 조정하여 반재(Half loading)상태로 설정하였다. 대상 수역인 인천항 동수도는 시뮬레이터 상에서 3차원으로 구성하여 가능한 현실과 유사한 상태를 구현하도록 노력하였다.

통항안전성 평가를 위해서는 동수도 항로 중에서 가장 취약한 수역으로 판단되는 부도등대 부근, 백암등대 부근, 북장자서 부근 그리고 SK돌핀 끝단 등의 접근거리와 속도 등을 평가요소로 설정하여 분석 평가하도록 한다. 이를 위한 본 논문의 주요 내용은 다음과 같이 구성하도록 한다.

제 1장은 서론으로 인천북항에 VLCC를 입출항시킴에 따른 배경과 목적 및 연구방법과 내용에 대하여 기술하고, 제 2장에서는 인천항의 자연환경의 특징을 살펴보고, 제 3장에서는 인천항의 입출항 항로 및 항만특성에 대하여 알아보고, 제 4장에서는 이 연구의 대상선박인 35만 DWT급 VLCC의 조종특성에 대하여 기술하도록 한다. 제 5장에서는 VLCC의 인천항 입항항로인 동수도에서의 선박통항 시뮬레이션을 통하여 나타난 취약수역에 대한 근접도를 기준으로 안전성을 평가하도록 한다. 그리고 끝으로 제 6장에서는 VLCC의 동수도 통항안전성에 대한 시뮬레이션 결과를 종합 평가하도록 한다.

이 연구 방법을 도식화하면 Fig. 1.1과 같다.

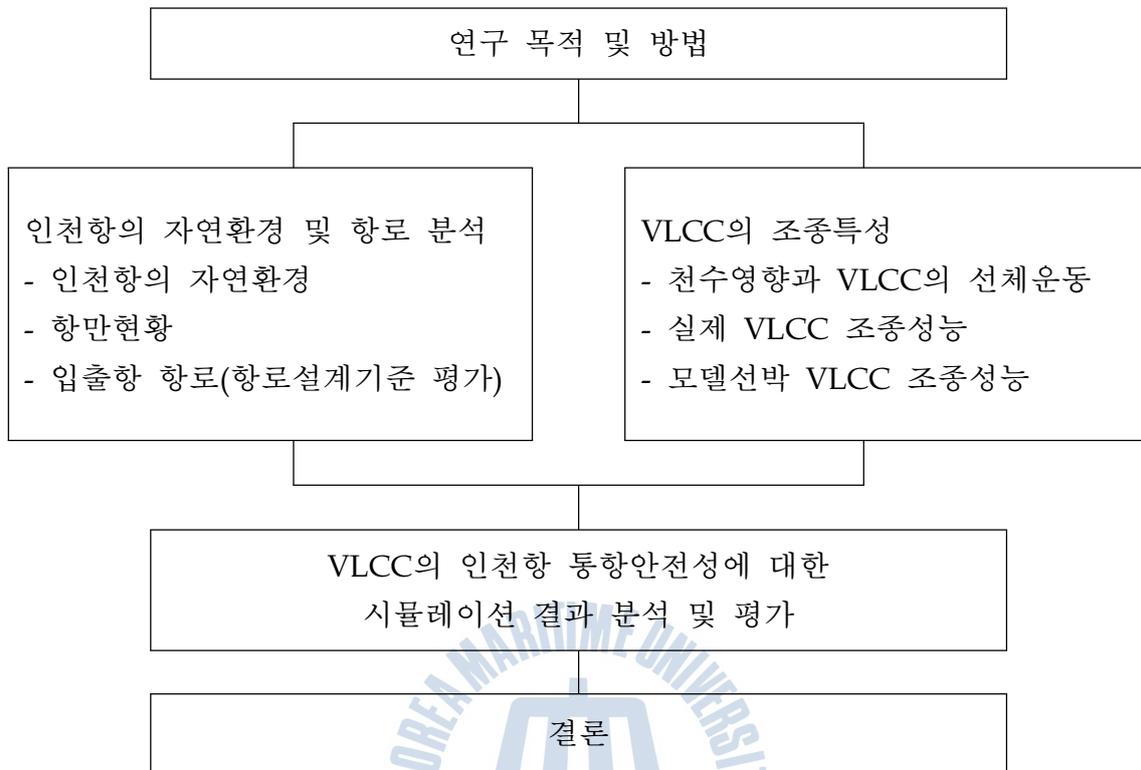


Fig. 1.1 Methods for the study

제 2 장 인천항의 자연환경 조사 분석

2.1 기상환경 조사 분석

인천항의 기상환경을 분석하기 위하여 최근 30년간(1980~2009, 인천기상대)의 기상통계 자료를 조사하였다.

2.1.1 바람

Table 2.1은 최근 30년간 인천항의 월별 풍속 및 풍향을 조사, 분석한 것으로 바람은 10월에 최대풍속 WNW방향으로 25.7m/s이며, 평균풍속은 WNW방향으로 3.0m/s이다. Table 2.2는 풍향별 최대풍속을 조사, 분석한 것으로 WNW방향으로 25.7m/s의 최대 풍속이 불었으며, Table 2.3은 풍향별 관측횟수를 백분율로 나타낸 것으로 NNW방향이 가장 우세하게 나타나고 있다.

Table 2.1 Monthly wind speed and wind direction (단위 : m/s)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전 년
최대풍속 및 풍향	20.7 WSW	19.7 WSW	18.7 WNW	21.2 SSW	16.7 SE	19.3 S	17.8 S	20.0 E	19.3 SSW	25.7 WNW	20.0 W	19.0 W	25.7 WNW
평균풍속	3.3	3.5	3.7	3.6	3.0	2.5	2.7	2.4	2.1	2.3	3.0	3.3	3.0
순간최대 풍속, 풍향	25.1 W	24.0 WNW	24.0 SSW	29.7 SSE	24.1 SE	26.3 S	31.8 SW	27.1 S	32.8 SSW	29.5 WNW	28.7 W	28.4 W	32.8 SSW

Table 2.2 Maximum wind speed by wind direction (단위 : m/s)

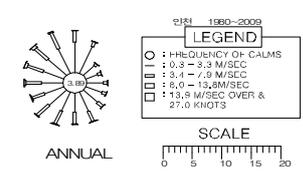
풍향	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
최대풍속	14.8	16.7	13.3	14.3	16.7	18.3	14.7	19.0
풍향	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
최대풍속	19.0	19.3	17.7	19.7	21	25.7	18.3	14.8

Table 2.3 Percentage of the number of observations by wind direction (%)

풍향	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
백분율	8.4	6.7	3.2	2.8	3.5	3.8	4.6	6.2	6.2
풍향	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	정온	
백분율	6.9	7.1	6.0	6.6	7.1	8.0	8.9	3.9	

WIND ROSE

연차 1980-2009



LEGEND

○ : FREQUENCY OF CALMS

▭ : 0.3 - 3.3 M/SEC

▨ : 3.4 - 7.9 M/SEC

▩ : 8.0 - 13.0 M/SEC

■ : 13.1 M/SEC OVER & 27.0 KNOTS

ANNUAL

SCALE

0 5 10 15 20

2.1.2 강수

Table 2.4는 월별 강수량을 조사한 것이다. 월별분포는 2월에 19.2mm로 최소, 7월에 317.6mm로서 연간 강수량의 26.2%로서 최대이다. 연간 강수량의 약 58%가 6~8월에 집중되는 것으로 조사되었다.

Table 2.4 Monthly rainfall (단위:mm)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
평균	20.6	19.2	39.4	61.4	99.4	109.6	317.6
1일최다	21.5	45.0	85.3	102.1	80.0	89.6	302.5
구 분	8월	9월	10월	11월	12월	전 년	
평균	277.6	140.9	53.9	51.0	19.9	1,210.5	
1일최다	260.8	284.0	87.1	54.9	25.2	302.5	

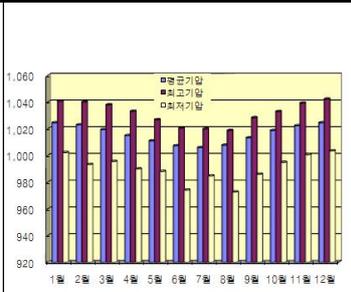


2.1.3 해면기압

Table 2.5는 월별 해면기압 조사, 분석한 것이다. 해면기압의 평균기압은 1,016.1hPa이며, 최고기압은 겨울철인 12월에 1,042.3hPa이고, 최저기압은 여름철인 8월에 972.8hPa를 나타내고 있다.

Table 2.5 Monthly sea surface pressure (단위 : hPa)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
평균	1,024.6	1,023.0	1,019.5	1,015.0	1,011.1	1,007.4	1,006.0
최 고	1,040.8	1,040.1	1,038.1	1,033.2	1,026.9	1,020.6	1,020.0
최 저	1,002.3	993.4	995.7	990.1	988.2	974.2	984.8
구 분	8월	9월	10월	11월	12월	전 년	
평균	1,007.8	1,013.3	1,018.8	1,022.4	1,024.6	1,016.1	
최 고	1,018.9	1,028.4	1,033.0	1,039.3	1,042.3	1,042.3	
최 저	972.8	986.1	995.0	1,000.8	1,003.6	972.8	



2.1.4 현상일수

Table 2.6은 인천항의 현상일수를 조사한 것이다. 맑음일수는 107.1일, 10mm이상 강수일수는 30.1일, 폭풍(13.9m/s이상)일수는 5.0일, 뇌전일수는 16.6일로 나타났다.

Table 2.6 Days of symptoms appearing (단위 : 일)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전 년
맑 음	13.5	12.1	10.1	9.3	8.1	4.9	2.1	4.0	8.0	12.5	10.8	12.5	107.8
흐 름	4.9	5.0	6.6	6.8	9.2	11.4	17.6	12.1	8.1	4.4	5.3	4.3	95.8
안 개	2.2	3.0	4.1	4.6	6.5	7.3	9.2	2.6	1.9	2.9	2.4	2.0	48.7
강 수	0.6	0.5	1.4	2.2	2.8	3.2	7.1	5.4	3.1	1.6	1.7	0.5	30.1
강 설	7.2	3.9	2.1	-	-	-	-	-	-	-	1.1	5.1	19.5
결 빙	29.6	25.1	14.8	0.8	-	-	-	-	-	0.6	10.0	25.7	106.6
폭 풍	0.5	0.6	0.5	0.6	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.3	0.7	0.9	5.0
뇌 전	0.1	0.3	0.3	1.1	1.4	1.8	3.3	3.1	1.5	2.2	1.0	0.5	16.6
기 온	5.2	1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	9.4

2.1.5 태풍

태풍은 북태평양 남서부인 필리핀 부근 해역에서 발생하는 열대성저기압 중에서 중심부근의 최대 풍속이 17m/s이상 되는 강한 폭풍우를 말하며, 연중 평균적으로 28개 정도가 발생하고 이중 2~3개가 우리나라에 직·간접적으로 영향을 주고 있다. 인천항에 영향을 미친 태풍은 Table 2.7과 같다. Fig. 2.1은 우리나라에 영향을 준 태풍의 경로도로 인천항은 동해, 남해에 비해서는 태풍의 횡수가 적음을 알 수 있다.

Table 2.7 Hurricane impact on incheon port

태풍 번호	태풍명	발생일	발생위치		중심최저 기압(hPa)	중심최대 풍속(kts)	영향기간	피해지역
			북위	동경				
8110	OGDEN	1981. 7.27	22.0	148.5	975	65	7.31~8.2	서해,남해
8118	AGNES	1981. 8.26	16.0	148.0	947	95	8.31~9.4	전국
8211	CECIL	1982. 8. 4	16.0	130.0	914	125	8.12~8.15	전국
8508	KIT	1985 .7.31	21.5	146.0	960	70	8.8~8.11	전국
8613	VERA	1986 .8.13	17.0	133.5	925	45	8.27~8.29	전국
8705	THELMA	1987 .7. 7	11.0	150.0	915	50	7.15~7.16	전국
8708	ALEX	1987 .7.21	8.5	143.0	970	45	7.29~7.30	서해안
8712	DINAH	1987 .8.21	11.7	150.7	915	50	8.30~8.31	전국
9005	OFELIA	1990 .6.16	8.5	139.0	970	32	6.24~6.26	전국
9210	JANIS	1992 .8. 3	11.2	145.0	935	47	8.7~8.8	경기,경북
9306	PERCY	1993 .7.27	21.0	130.4	975	30	7.29~7.30	경기,충남
9411	BRENDAN	1994. 7.25	14.3	129.5	992	23	7.31~8.1	전국
9414	ELLIE	1994. 8. 6	28.5	146.5	965	35	8.14~8.16	경기
9429	SETH	1994. 10.2	8.5	160.0	910	55	10.10~10.12	전국
9809	YANNI	1998. 9.28	20.4	126.1	965	33	9.28~9.30	전국
9905	NEIL	1999. 7.25	23.5	128.9	980	25	7.26~7.28	전국
9907	OLGA	1999. 7.30	17.2	134.0	970	33	8.2~8.4	전국
9918	BART	1999. 9.19	22.3	128.5	930	45	9.23~9.24	전국
0012	PRAPIROON	2000. 8.27	19.8	131.5	965	36	8.31~9. 1	전국
0014	SAOMAI	2000. 9. 3	16.2	148.0	925	49	9.12~9.16	전국
0205	RAMMASUN	2002. 6.29	11.3	136.5	945	44	7.4~7.6	전국
0209	FENGSHEN	2002. 7.15	12.8	170.0	920	51	7.26~7.27	남해,서해
0215	RUSA	2002. 8.23	16.5	161.0	950	41	8.30~9.1	전국
0314	MAEMI	2003. 9. 6	16.0	141.5	935	46	9.12~9.13	전국
0415	MEGI	2004. 8.16	18.8	130.0	970	33	8.17~8.19	전국
0807	KALMAEGI	2008. 7.15	18.1	123.7	960	39	7.19~7.20	경기,충청

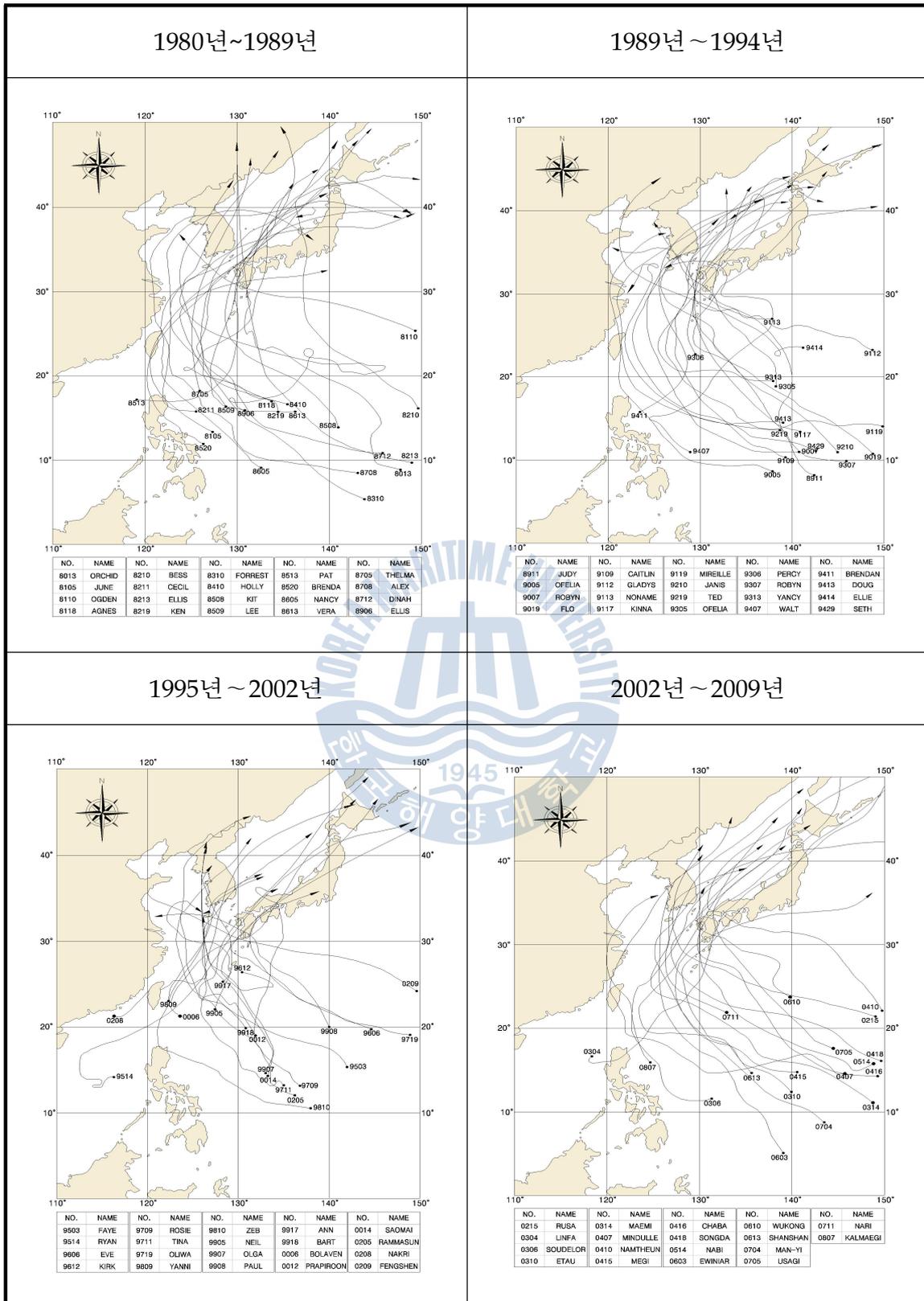


Fig. 2.1 Typhoon route map

2.2 해상환경 조사 분석

2.2.1 조위

인천항의 조석형태는 반일주조형으로 일조부등은 적으나 조차가 크게 나타나고 있다. 매일 거의 같은 시각에 만조와 간조가 일어나며 조시의 부등은 저조시에 크고 고조시에 작으며, 고조의 부등은 고조시에 크고 저조시에 작게 나타난다. Table 2.8 은 인천항 조위를 나타낸 것으로 대조차는 797.8cm, 평균대조차는 572.4cm, 소조차는 347.0cm를 나타내고 있다. 이 지역의 기왕 고극조위는 1997년 8월에 관측된 1,008.0cm로 기왕 저극조위는 1963년 3월에 관측된 (-)101cm로 조사되었다.

Table 2.8 Tide in incheon port

비조화상수			조위표	
구	분	조 위 (DL,cm)		
고극조위	(Obs. H.H.W)	1,008.0	1,008.0	Obs. H. H. W
약최고고조위	(App. H.H.W)	927.0	927.0	App. H. H. W
삭망평균만조위	(H.W.L)	927.0	862.4	(H. W. L) (H. W. O. S. T)
대조평균고조위	(H.W.O.S.T)	862.4	749.7	H. W. O. M. T
평균고조위	(H.W.O.M.T)	749.7	637.0	H. W. O. N. T
소조평균고조위	(H.W.O.N.T)	637.0	463.5	M. S. L
평균해면	(M.S.L)	463.5	290.0	L. W. O. N. T
소조평균저조위	(L.W.O.N.T)	290.0	177.3	L. W. O. M. T
평균저조위	(L.W.O.M.T)	177.3	64.6	L. W. O. S. T
대조평균저조위	(L.W.O.S.T)	64.6	0.0	App. L. L. W
약최저저조위	(App. L.L.W)	0.0	-101.0	Obs. L. L. W
저극조위	(Obs. L.L.W)	-101.0		

2.2.2 조류

인천항 및 서해 인근해역은 다수의 도서가 산재하며 여러 갈래의 대·소 수도를 구성, 전반적으로 유황이 매우 복잡하고 유속도 매우 빠른 현상을 보인다. 반일주조류가 우세한 왕복성 조류로 규칙적인 1일 2회의 창·낙조류가 발생하며, 지형적 영향으로 대이작도에서 소야도 사이 서수도 부근에서의 유속은 매우 빠르며 와류 발생 현상을 보인다. 인천항 인근 해역은 반일주조류가 우세한 주왕복성 조류의 규칙적인 1일 2회의 창·낙조류가 일어나고 일조부등은 작은편이며 해안 및 협수로에서 해안선에 평행인 주왕복성 조류가 매우 강하게 흐르고 있다. 팔미도 부근에서 창조류는 북류하여 수로를 따라 흐르다가 수로폭이 좁아짐에 따라 유속이 가속화 되고 낙조

류는 이와 반대현상으로 흐른다. 창조류는 저조 후 약 30분에서 고조 후 약 30분 월미도 서단을 향하여 북쪽으로 흐르고 낙조류는 이와 반대로 흐르며, 최강유속은 3.8kts에 달하며 각 전류시에 있어서 약 15분간의 유속이 0.3kts이하이다. 유속은 연간 평균 대조에 최강이 약 2.8kts, 연간 최대 창조류가 약 3.1kts, 낙조류가 약 3.0kts로 추산되며 최강류시는 삭망후 약 2일경에 나타난다. 일조부등은 달의 적위가 최대인 시각으로부터 약 2일전에 나타나며, 하계에 현저하고 평균 창조류 간격은 달이 자오선을 통과한 후 2시간 11분만에, 평균 낙조류 간격은 8시간 23분만에 최강류가 일어나고 항류는 창조류 방향으로 0.1kts 내외이다. Table 2.9는 인천항 해역의 최강조류속을 조사한 것이며 Fig. 2.2는 인천항의 창조류, 낙조류의 조류도이다.

(1) 인천항

창조류는 동·서수도에서 유입되어 팔미도의 서측수로와 동측수를 지나 다시 합류하여 수로를 따라 흐르다가 수로폭이 좁아짐에 따라 유속이 증가되며, 낙조류는 이와 반대 방향으로 흐르고 있다. 최강 창조류속은 연간 평균대조기에 약 0.7~3.0kts를 나타내며, 최강 낙조류속은 연간 평균대조기에 약 0.9~3.2kts를 나타낸다.

(2) 동수도

창조류는 승봉도의 동측해역에서 북류하여 영흥도의 서측해역을 따라서 흐르다가 수로로 유입되며, 낙조류는 이와 반대 방향으로 흐르며 북동류와 합류하고 팔미도를 지나면서 북류하여 인천항으로 유입되는 형태를 보인다. 최강 창조류속은 연간 평균대조기에 약 1.4~3.1kts를 나타내고, 최강 낙조류속은 연간 평균대조기에 약 1.4~3.6kts를 나타낸다.

(3) 서수도

창조류는 대이작도~소야도 사이의 좁은 수도를 북류하면서 최강류가 발생하고 동백도 부근에서는 심한 와류가 발생하며, 낙조류는 이와 반대 방향으로 흐르고 있으며, 초지도 남방에서는 북동류하여 동수도에서 유입된 흐름과 합류하고 팔미도를 지나면서 북류하여 인천 외항으로 유입되는 형태를 보인다. 최강 창조류속은 연간 평균 대조기에 약 1.8~3.1kts를 나타내고, 최강 낙조류속은 연간 평균대조기에 약 1.2~3.3kts를 나타낸다.

(4) 태안반도 북서방 (장안서 부근)

조류의 방향은 외해에서 북동류하여 일부는 동·서수도로, 일부는 아산만으로 유입하는 왕복성 조류가 나타나고 유속도 비교적 빠른 현상을 보인다. 최강 창조류속은 연간 평균 대조기에 약 1.8~2.8kts를 나타내며, 최강 낙조류속은 연간 평균 대조기에 약 1.7~2.8kts를 나타낸다.

Table 2.9 Maximum tide speed in incheon

대상해역	구분	최강유속(ktsot) (평균대조기)	비 고
인천항	창조류	0.7~3.0	
	낙조류	0.9~3.2	
동수도	창조류	1.4~3.0	
	낙조류	1.5~3.6	
서수도	창조류	1.8~3.1	
	낙조류	1.2~3.3	
태안반도 북서방 (장안서 인근)	창조류	1.8~2.8	
	낙조류	1.7~2.8	

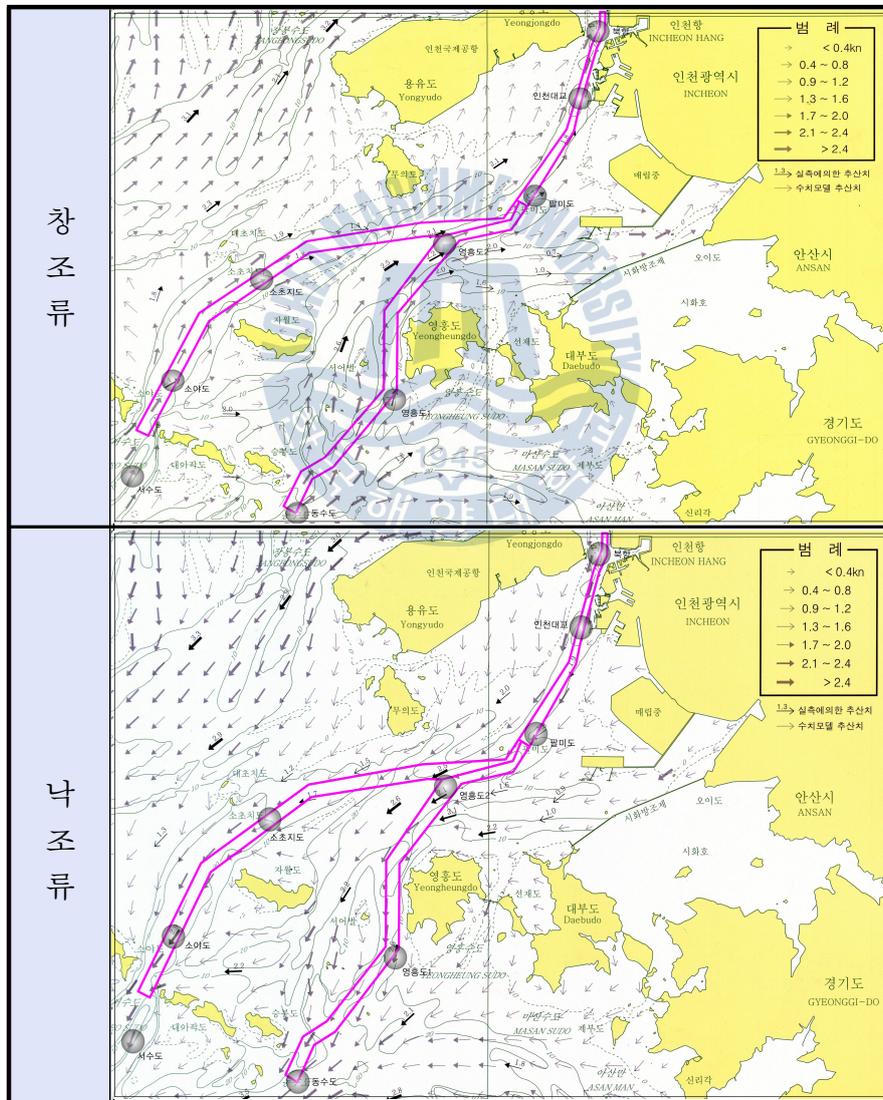


Fig. 2.2 Tide map (출처:국립한국해양조사원)

2.2.3 파랑

(1) 기존 설계파고

인천항 주변 해역은 동측으로는 육지부, 서측으로는 많은 섬으로 차폐되어 있으며, 만내 수역은 부분적으로 간사지가 발달되어 수심이 낮으므로 자연적으로 파랑의 영향을 저감시켜 주는 양호한 입지조건을 갖추고 있다. Table 2.10과 Table 2.11은 심해설계파를 나타낸 것이며, Table 2.12는 천해설계파를 나타낸 것이다. 일반적으로 인천항에 영향을 미치는 파랑은 주수로 방향인 WSW방향 및 SW방향의 파랑이나 지리적 특성상 취송거리가 매우 짧아 항 입구부의 최대파고는 2.0m 내외로 나타나고 있다. 심해설계파 재산정 결과(한국해양연구원, 전해역 심해설계파 추정Ⅱ, 2005. 12) 대부분 지역에서 심해파가 상향 추산되었으므로 항만개발 단계에서는 재추산 결과를 검토하여 구조물의 안정성 및 항내정온도가 확보될 수 있도록 수리·수치모형실험 등을 거쳐 종합적으로 분석·적용이 필요하다.

Table 2.10 Deep sea design wave 1

구 분	파 향	파고 (m)	주기 (sec)	비 고
인 천	NW	5.0	9.0	
	SE	5.5	9.0	
	E	4.5	8.0	

출처 : 해운항만청, 전국 항만 설계파 추산보고서, 1988

Table 2.11 Deep sea design wave 2

구 분	파 향	파고 (m)	주기 (sec)	비 고
인 천	SW	5.29	12.64	056107
	WSW	4.15	9.62	
	W	4.06	9.06	056106
	WNW	3.57	7.71	
	NW	2.67	6.21	

출처 : 한국해양연구원, 전해역 심해설계파 추정보고서 Ⅱ, 2005

Table 2.12 Shallow sea design wave

구 분		파 향	파고(m)	주기(sec)	재귀년도(년)	비 고
인천 DOCK		SW	2.80	6.46	25	건설부 (1971)
인 천 항		SSW	2.20	5.20	50	해운항만청 (1985)
		WSW	1.96	5.20	50	
일도화력		SSW	1.90	5.70	100	한국전력기술주식회사 (1987)
		NNW	0.74	5.70	100	
인천해역 수 심	10m	SW	2.00	6.00	50	해운항만청 (1988)
	15m	SW	2.40	6.00	50	
	20m	SW	2.50	6.00	50	
인천항 국제여객부두		SW	2.70	6.26	50	인천지방해운항만청 (1989)
		NNW	1.10	3.10	50	
		NW	1.08	3.07	50	
		WNW	1.38	3.55	50	
인 천 북 항		SW	2.10	5.60	50	인천지방해운항만청 (1990)
		SSW	2.40	6.00	50	
인천북항 경인에너지부두		SSW	2.40	5.30	50	경인에너지(주)(1993)
송도 신도시		W	1.40	4.00	50	인천광역시 (1993)
		WSW	2.00	6.00	50	
인천 청라2지구 전면호안		WNW	1.88	5.37	50	인천광역시 (1995)
인천남항 준설토 투기장		SW	2.00	6.00	50	인천지방해운항만청 (1995)
인천북항 준설토투기장		SSW	2.26	5.47	50	인천지방해양항만청 (1997)
LNG 발전부지		WSW	2.27	5.82	50	한국가스공사, 대림산업(1998)
인천북항 고철부두1선석		SSW	0.78	5.47	50	동국제강 (2001)
인천북항 고철부두2선석		SSW	0.78	5.47	50	인천제철 (2001)

출처 : 국토해양부. 인천북항 일반2부두 민간투자사업 타당성조사 및 기본설계 2004.3
 인천지방해양항만청, 인천항 갑문지구 주변정비 및 2·3부두 물양장 개축 기본 및
 실시설계, 2003. 12

2.3 항만현황 조사

인천항의 항계선은 인천광역시 고척도 남단(북위 37°33'54"~동경 126°21'00"), 영종도 북단, 팔미도 등대와 변도를 거쳐 시흥군 군자면 죽울리 서단을 잇는 행면으로서 항계내 수면적은 283,170천㎡이다. 간만의 차는 9~10m이며, 선거내 수면적은 18,500천㎡에 수심이 8~13m이다.

2.3.1 항로

(1) 인천항 항로

Fig. 2.3은 인천항 항로 현황이다. 인천항의 항로는 근접항로와 진입항로로 구별된다. 근접항로는 입항로(동수도)와 출항로(서수도)로 세분되며, 동수도는 변도에서 3km떨어진 하류로부터 팔미도 옆을 지나는 항로까지의 수로를 말하며, 길이는 약 34km, 폭은 1km, 수심은 15~30m정도이다. 서수도는 팔미도옆 항로에서부터 서쪽으로 소야도와 별도까지의 수로를 말하며, 수로의 길이는 약 38km, 폭은 1km, 수심은 11~25m정도이다. 그리고 여객선들의 통항을 위한 팔미도 북측 수역으로 연안여객선 항로를 개설하고 있다.

인천항은 갑문시설을 중심으로 갑문내의 내항과 갑문밖의 외항으로 구분되며, 외항은 다시 위치와 기능에 따라 남항, 북항, 연안항 및 석탄부두로 구분된다. 갑문을 보유한 인천항은 최대 10m에 달하는 조위변동에도 불구하고 5만톤급 선박 등 대형 선박의 입출항이 가능해져 선거내에 외항화물 전용부두로 운영되고 있다. 선거외의 남항, 북항, 석탄부두는 주로 선거 내 처리가 어려운 유류, 액체가스, 석탄, 모래 등을 취급하고 있으며, 연안부두는 서해도서를 잇는 여객선 접안시설 및 어선기지로 활용되고 있다. 선거내 접안시설은 모두 8개 부두로 구획되어 있는데, 부두별 전문화 계획에 의거 주요 취급화물이 구분되어 있다. 제 1, 2, 3, 6부두는 잡화취급부두로, 제 4, 5부두는 컨테이너 및 자동차전용부두로, 제7부두는 양곡전용부두로, 그리고 제 8부두는 고철전용부두이나 실제로는 완전한 부두별 전문화가 이루어지지 못하고 있는 실정이다.



Fig. 2.3 Navigation route status in incheon port

2.3.2 정박지

(1) 인천항 정박지

인천항의 정박지 현황은 W정박지 12곳, E정박지 6곳, A정박지 5곳, 검역지 1곳, 영흥화력 1곳으로 Table 2.13과 Fig. 2.4와 같다.

Table 2.13 Incheon port anchorage status

명칭	위치	반경(m)	수심m	선박길이	비고(G/T)
W-1	N 37° 22' 25", E 126° 31' 31"	400	14.0	275	50,000
W-2	N 37° 22' 50", E 126° 31' 51"	400	11.6	275	50,000
W-3	N 37° 23' 15", E 126° 32' 13"	400	10.2	275	50,000
W-4	N 37° 23' 39", E 126° 32' 33"	300	10.3	175	30,000
W-5	N 37° 24' 18", E 126° 32' 12"	300	7.9	175	우선피항선 (부선포함)
W-9(비상대기)	N 37° 25' 52", E 126° 34' 02"	300	11.5	175	30,000
W-10	N 37° 26' 21", E 126° 34' 12"	300	11.5	175	30,000
W-11	N 37° 26' 50", E 126° 34' 22"	300	11.5	175	20,000
W-12	N 37° 27' 20", E 126° 34' 32"	300	12.0	175	15,000
W-13	N 37° 27' 49", E 126° 34' 42"	300	12.0	175	15,000
W-14	N 37° 28' 18", E 126° 34' 51"	300	12.0	175	15,000
W-15	N 37° 28' 58", E 126° 35' 07"	225	10.0	100	2,000
E-1	N 37° 21' 34", E 126° 32' 34"	400	14.0	275	100,000
E-2	N 37° 22' 07", E 126° 32' 39"	400	8.0	275	10,000
E-3	N 37° 22' 32", E 126° 32' 58"	400	6.1	275	10,000
E-4	N 37° 23' 00", E 126° 33' 15"	300	11.0	175	5,000
E-5	N 37° 23' 26", E 126° 33' 33"	300	11.0	175	50,000
E-6(비상대기)	N 37° 23' 53", E 126° 33' 50"	300	11.0	175	20,000
A-3	N 37° 22' 36", E 126° 33' 29"	300	4.3	175	2,000
A-4	N 37° 23' 04", E 126° 33' 47"	300	4.3	175	2,000
A-5	N 37° 23' 31", E 126° 34' 03"	300	4.0	175	2,000
A-6	N 37° 23' 50", E 126° 34' 21"	300	6.0	175	4,000
A-9	N 37° 25' 05", E 126° 35' 39" N 37° 25' 10", E 126° 35' 16" N 37° 24' 12", E 126° 34' 54" N 37° 24' 06", E 126° 34' 18"	네지점 을 연결한 선내	2.5 ~4.5	-	우선피항선 (부선포함)
Q-1 (검역)	N 37° 21' 51", E 126° 33' 28"	900	6.0 ~12.0	-	5,000 ~50,000
Y-1 (영흥화력)	N 37° 14' 18.32", E 126° 25' 41.69" N 37° 14' 29.23", E 126° 25' 41.61" N 37° 14' 18.30", E 126° 25' 38.75" N 37° 14' 29.20", E 126° 25' 38.67"	네지점 을 연결한 선내	20.3	-	76,000

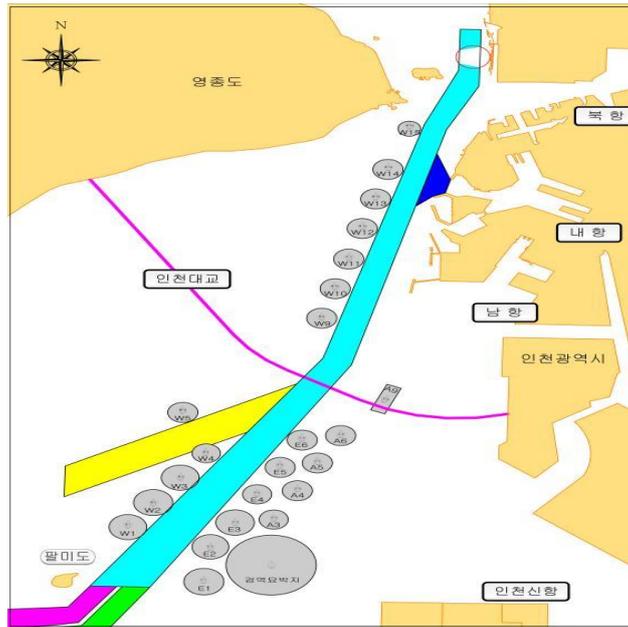


Fig. 2.4 Anchorage status in incheon port

(2) 경인항 정박지

경인항의 정박지 현황은 W-16, 17 두 곳으로 Table 2.14와 같다.

Table 2.14 Kyungin port anchorage status

명칭	위치	반경(m)	수심(m)	비고
W-16	N 37° 31' 14.0", E 126° 35' 25.6"	250	9.0	검역표지
W-17	N 37° 31' 29.7", E 126° 35' 19.9"	200	8.0	

(3) 입·출항 대기 정박지

입·출항 대기 정박지의 현황은 입항대기정박지 3곳으로 Table 2.15와 같다.

Table 2.15 Waiting anchorage status for arriving/departuring

구분	수심(m)	위치	비고
제1입항대기정박지	23~28	N 37° 19' 54" E 126° 26' 06"	세 지점을 연결한 선내
		N 37° 19' 36" E 126° 23' 38"	
		N 37° 17' 36" E 126° 23' 42"	
제2입항대기정박지	10~30	N 37° 06' 42" E 126° 12' 30"	네 지점을 연결한 선내
		N 37° 04' 48" E 126° 14' 42"	
		N 37° 01' 30" E 126° 10' 00"	
제3입항대기정박지	7.6~20	N 37° 03' 30" E 126° 08' 30"	반경1마일 원내 5,000G/T 미만
		N 37° 11' 06" E 126° 25' 40"	

제 3 장 인천항의 입출항 항로

3.1 항로 설계기준 평가

인천항 동수로 항로에 대한 수심, 항로폭 및 제반 수역시설에 대한 일반적인 기초사항을 결정하기 위하여 국내외 각종 수역시설에 대한 설계기준을 검토하며, 대상수역에 보다 실질적이고 정량적인 검토 및 분석을 위해서는 대상수역에 대한 선박조종 시뮬레이션이 별도로 수행될 필요가 있다.

3.1.1 수역시설에 대한 국내·외 기준

항만시설 및 수역시설을 설계하는 데 있어서 국제적으로 활용되고 있는 항만 및 항로 설계 지침인 PIANC(Permanent International Association of Navigation Congresses, 국제상설항해협회, 이하 PIANC) Rule, 미국 육군공병대의 항만설계 지침, 일본의 항만설계지침 및 우리나라의 항만 및 어항설계기준 등을 중심으로 인천항 입항항로의 안전조건을 검토하도록 한다. 우리나라의 항만 및 어항 설계기준은 일본의 항만설계지침과 거의 유사하다.

(1) 항로의 폭

가. PIANC Rule

항로 폭에 관한 PIANC Rule의 일반적인 권고로는 항로의 최소 폭이 가장 큰 선박 폭의 5배 이상이 되어야 하며, 횡방향의 조류가 있는 경우에는 항로 폭을 더욱 증가시킬 것을 권고하고 있다. 만곡부 항로에서 항로의 폭은 선박의 길이에 따른 항로의 여유 폭 $L^2/8R$ (L : 선박의 길이, R : 만곡부 곡률반경)만큼 증가시켜야 한다. 또한 선박의 조선 곤란성을 고려한 추가 여유 폭이 필요하며, 이 여유 폭은 만곡부의 반경이 짧은 경우, 변침각이 큰 경우, 조류나 바람이 강한 경우에 더욱 중요하다. 그리고 서로 다른 폭을 갖는 항로 구간들의 경우에 그 끝단들은 직선 구간으로 연결되어야 하며, 항로 폭의 변경은 전진거리 100m당 10m를 초과해서는 안 된다. 항로의 만곡부는 그 곡률반경이 통항하는 가장 큰 선박길이의 5배 이상이 되어야 하며, 양방향(two-way) 통항로의 경우 두 통항선박 사이의 간격이 최대선박 선폭의 2

배 이상이 되면 위험하지 않으나 항과 시의 조종성 제한도 고려해야 한다. 따라서 편도항로의 항로 폭에 최대 선박 폭의 3~5배를 추가해 주어야 하며, 조류나 바람에 의한 표류효과(drifting effect)에 의한 값(가장 큰 선박의 길이 \times sine 최대편각 β)을 더해 주어야 한다.

나. 미국

1) 조선통항 폭(Manoeuvring Lane)

최소 항로 폭을 결정하는 첫 번째 단계는 선박의 조선통항 폭을 결정하는 것이다. 조선통항 폭은 선박이 안벽과의 여유거리 구간을 침범하거나 다른 선박에 위험을 줄 정도로 타 선박의 항로를 침범함이 없이 직진 항로로부터 벗어날 수 있는 폭이다. Fig. 3.1과 Table 3.1은 미국 항만설계기준에 나타난 항로 폭에 대한 상세한 내용으로 유능한 도선사가 조선회하는 조종성능이 우수한 선박의 경우 조선통항대의 최소 폭은 선폭의 160%이다. 이 값은 선박이 편각을 가지고 항해하게 만드는 횡방향의 조류, 바람 그리고 파도의 영향이 없는 항로에 적용된다. 조종성능이 좋지 않은 선박의 경우 동일한 조건 하에서 조선통항 폭은 선폭의 200%가 된다. 항로의 조선통항 폭을 결정할 때 횡방향의 조류 또는 바람의 영향이 있는지, 기상상태가 시정이나 타 선박의 위치 파악에 영향을 미치는지에 대한 판단이 요구되며, 선박 통항량이 매우 많은 항로나 위험화물이 운송되는 항로의 경우에는 추가의 여유 폭을 주어야만 한다.

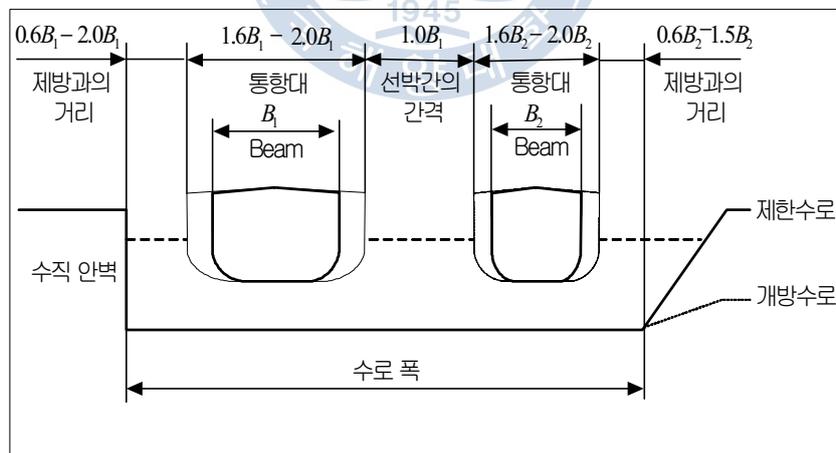


Fig. 3.1 Standard for fairway width (American standard)

Table 3.1 General criteria for the fairway width (American standards)

위치	선폭의 백분율로 표시한 최소 항로 폭			
	선 박 조 종 성능			횡 방향의 조류, 바람이 있는 경우 추가 폭
	매우 양호	양 호	불 량	
조선통항 폭, 직선항로	160	180	200	판 단
만곡부, 26° 만곡	325	370	415	판 단
만곡부, 40° 만곡	385	440	490	판 단
통항선박 사이의 간격	80	80	80	100, 그리고 100 feet 보다 작지 않을 것
안벽과의 여유 거리	60	60	60	150

2) 통항선박 사이의 간격

통항선박 사이의 최소간격은 횡방향의 조류 또는 바람의 영향이 없다고 가정할 때 통상 선폭의 80%이다. 횡방향의 조류 또는 바람의 영향이 있는 경우에는 통항대 속에 여유폭이 가산되게 된다. 그러나 이들 횡방향 힘의 영향이 매우 큰 경우에는 통항선박 사이의 간격에 안전거리를 더 추가해 주어야 할 필요가 있을 수 있다.

3) 안벽과의 여유거리

안벽과의 여유거리는 인접한 조선통항대의 끝단과 해저의 경사면 시작 지점 사이의 수평거리를 말하며, 횡방향의 조류 또는 바람의 영향이 없는 항로에서 조종성능이 좋은 선박이 통항하는 경우 안벽과의 여유거리는 선폭의 60%가 되어야 한다. 그러나 강한 횡방향의 조류, 바람이 있는 경우 또는 안벽이 바위 등과 같은 단단한 물질로 이루어져 있는 경우에는 지역적 특성들을 고려하여 안벽과의 여유거리를 선폭의 150% 이상으로 증가시켜야 한다.

4) 부표와의 여유거리

항로를 표시하기 위한 부표는 조류 및 수심의 변화 그리고 파랑에 의하여 그 위치가 변하기 때문에 부표의 위치는 정확성에 한계가 있다. 항로 폭을 결정할 때에 부표의 이동과 관련하여 여유폭을 줄 것인가 하는 것은 선택적인 사항이다. 부표와의 여유거리는 지역적인 상황에 따라 판단할 사항이며 Range marker를 사용하는 항로의 경우에는 필요하지 않다.

5) 항로 입구의 폭

항로 입구에서는 강하고 변화가 많은 조류, 강한 파도, 바람, 안개 그리고 기타 항해에 어려움을 주는 여러 가지 요소들에 의해 선박들이 영향을 받아 항행 상에 어

려움을 겪게 되므로 항로 입구에서의 항로 폭이 항로내측의 항로 폭보다 더 넓도록 하여야 한다.

6) 만곡부에서의 항로 폭

일반적으로 항로의 만곡부는 최대 통항 선박 길이의 5배 이상의 반경을 가져야 하며 가능하면 10배 이상이 안전하다.

다. 한국 및 일본

왕복항로에 있어서 항로의 폭은 1L(L:선박길이)이상의 적절한 폭으로 하며 항로의 길이 및 통항상황에 따라 다음 Table 3.2와 같이 정해진다.

Table 3.2 Fairway width (L : Length of target ship)

항로의 길이	통항 상황	항로 폭
비교적 거리가 긴 항로	대상선박들이 빈번하게 서로 만날 경우	2L
	상기 이외의 경우	1.5L
상기 이외의 항로	대상선박들이 빈번하게 서로 만날 경우	1.5L
	상기 이외의 경우	1L

통항량이 현저하게 많은 항로, 항로를 횡단하는 선박의 항행이 예상되는 항로, 초대형선을 대상으로 하는 항로, 기상·해상 조건의 영향이 심한 항로 등 특수한 항로에서는 상기 일반 항로의 폭에 이용 실태를 감안하여 여유를 더 주어야 한다.

라. 항로설계기준에 따른 항로 폭의 종합적 검토

항로 폭은 당해 항로를 통항하게 될 선박이 안전하고 효율적으로 운항할 수 있도록 설계되어야 하며 필요한 최소 항로 폭은 선박의 크기와 조종성능, 항로의 배치와 형태, 교통밀도, 기상·해상 조건, 항로표지의 성능과 설치 간격 및 일방통항 또는 왕복통항 항로의 여부에 따라 결정된다. PIANC Rule, 미국, 한국 및 일본의 모든 항로설계지침에서 항로 폭을 결정하는 데 있어서 그 기준이 되는 것은 대상선박의 폭과 길이이다.

(2) 항로의 수심

가. PIANC RULE

항로의 수심은 기본수준면을 기준으로 하여 최대 허용흘수, 선저여유수심 그리고 명목상 해저면과 준설 해저면과의 차이를 합한 값을 최저 수심이 되도록 하여야 한다. Open sea 해역은 강하고 파장이 긴 선미방향 또는 선미 4분의 1방향(Quarter)의 Swell에 노출된 해역으로서 선박이 고속으로 항행할 수 있는 지역의 경우 총 선저여유수심은 대상선박 최대 흘수의 20%가 되어야 한다. 강하고 파장이 긴 Swell에 노

출된 대기해역에서는 총 선저여유수심이 흘수의 15%가 되어야 한다. 강하고 파장이 긴 Swell에 노출된 항로의 경우, 총 선저여유수심은 흘수의 15%, 비교적 Swell에 노출이 안 된 항로의 경우는 흘수의 10%가 되어야 한다. 또한, 조선 및 접·이안 해역에서는 Swell에 노출되어 있는 지역의 총 선저여유수심은 흘수의 10~15%, Swell 등으로부터 보호되어 있는 지역의 경우는 흘수의 7%가 되어야 한다.

나. 미국

항로의 수심은 그 항로를 이용하게 될 선박 중에서 흘수가 최대인 선박이 통항할 수 있어야 한다. 수면이 가끔 평균저조면 이하로 내려가는 경우에 설계수심은 저조면 이하의 수면을 기본수준면으로 하여 결정해야 한다. 항로의 수심 결정에 대한 기본사항을 살펴보면, 필요한 수심은 계획 선박의 만재흘수에 Squat, 담수에서의 추가 침하량, 트림과 파랑의 영향 그리고 안전 여유수심을 더하여 결정해야 하고 여기에 추가하여 선박의 해수유입구 위치를 고려한 여유, 두 준설기간 사이의 퇴적량 및 준설오차를 고려한 여유를 더해 주어야 한다.

1) 선체의 운동에 의하여 선체를 지나는 유속이 증가하여 수면을 낮아지게 하고 아울러 선체를 침하시키는 현상을 Squat현상이라고 하며, Squat현상은 트림에도 영향을 미치지만 그 효과는 작아서 통상적으로 무시된다. Squat에 의한 침하량은 선속, 항로와 선박의 특성, 다른 선박과의 상호작용 등을 포함한 여러 가지 요소에 의하여 영향을 받는다. 따라서 항로의 수심에 따라 정할 때에는 이러한 Squat현상에 대한 추가 여유수심을 고려하여야 한다.

2) 담수에서는 추가 침하량이 필요하다. 해수에서 담수로 항해할 때 물 비중의 감소로 흘수가 증가하며, 비중 1.026의 해수에서 비중 0.999의 담수로 진입할 때 선박의 배수량은 약 3% 증가한다. 따라서 해수에서 35ft의 흘수를 갖는 선박의 경우 담수에서의 흘수는 36ft가 된다.

3) 트림이란 선수흘수와 선미흘수의 차를 말하며, 화물의 적재상태에 의해 좌우되며 조선자들은 일반적으로 등흘수(even keel) 상태보다는 트림된 상태를 선호한다. 선수로 경사된 선박은 조종성능이 좋지 않기 때문에 선미 트림이 되도록 화물을 싣는 경우가 많다.

4) 파랑에 의해 야기되는 선체의 침하는 항로의 수심을 설계할 때 반드시 고려되어야 할 사항이다. 파도는 선체에 Pitching, Rolling, Yawing 및 Heaving과 같은 현상을 일으키며, 대양에서 길이 1,000ft의 선박에 작용하는 2.5°의 피칭은 선수흘수를 약 22ft 증가시키게 된다. 그리고 폭이 100ft인 선박에 있어서 5°의 선체 롤링은 약 4.2ft의 선체 중앙흘수의 증가를 초래한다.

5) 해수 유입구 아래의 최소 여유수심은 프로펠러의 수류작용에 의한 해저물질의 부유 및 해수 유입구와 연결되어 있는 시스템의 이물질에 대한 민감도를 고려하여 정해져야 한다. 민감한 해수 유입구와 이물질이 많은 항로의 바닥과는 최소한 5ft의 간격을 두도록 권고하고 있으며, 이 수치는 샌프란시스코 만에서 SL-7 컨테이너선에 대한 해수 유입구의 연구 결과에 기초한 값이다.

6) 최소한의 선저 여유수심으로 안전성과 효율성을 동시에 고려하여 결정해야 한다. 제한된 항로의 수심은 방해 수류를 발생시켜 선박의 조종성에 영향을 미칠 수 있다. 천수효과에 대한 정확한 정보는 없으나 수심이 얕아질수록 조선이 곤란해지며, 선속을 상당히 감소시키지 않는 한 조선에 많은 타각이 요구된다는 것이 알려져 있다. 해저의 목재나 잔해물질로부터 추진기의 손상을 방지하고, 펌프와 콘덴서가 해저 장애물에 의해 손상되는 것을 방지하기 위하여 선저와 해저 사이에는 최소한 2ft의 여유를 두어야 하며, 항로의 바닥이 암반 등으로 이루어진 경우에는 적어도 3ft가 되어야 한다.

7) 안전 여유수심에 추가하여 운항효율을 위한 여유수심을 두는 것도 선박의 경제적인 측면에서 필요하다. 이는 교통량 및 교통형태와 설계 속도를 유지하는 데 필요한 연료소모 등에 따라 달라진다. 수심에 따른 저항이나 힘의 증가율은 대략적으로 $50 D/H$ (D : 흘수, H : 수심)와 같다.

8) 추가 예비준설은 각종 침전물의 침전에 대비하여 항로를 설계 깊이보다 깊게 준설하는 것이다. 추가 예비준설 깊이를 두면 수심에 대한 신뢰도가 커지고 준설횟수를 줄일 수 있어 경제적이다. 최적 수심을 결정하기 위해서는 예비준설 깊이의 증가가 수심 감소율 증가에 미치는 영향에 대한 평가를 해야만 한다.

9) 예비준설 깊이에 추가하여 약 1ft~2ft의 수심을 준설 오차로 고려하여야 한다. 이것은 항로를 똑같은 깊이로 완전하게 준설하는 것이 사실상 불가능하기 때문이다.

다. 한국 및 일본

항로의 수심은 정박지의 수심과 같은 기준의 수심을 확보함과 동시에 상황에 따라 저질, 선박의 동요, 트림, 선체의 침하, 해도오차, 측량오차, 준설 오차 등을 고려한 여유수심을 더하여 결정한다. 정박지의 수심은 대상선박의 만재흘수에 당해 만재흘수의 약 10%를 더한 값으로 한다. 적화 및 항해 때문에 발생하는 선박의 선수미 흘수의 차를 트림이라 하며, 통상의 적화상태에서 저속일 때는 선수가 침하하고 고속일 때는 선미가 침하하는 경향이 있으며 얕은 수역 또는 항로의 단면적이 작은 수역에서는 선체 부근의 수위가 낮아져 선체가 침하하는 Squat 현상이 일어나므로 여유수심이 필요하다. 또한, 해저가 단단한 지반으로 되어 있는 곳에서는 선저가 해저와 접촉할 경우 큰 사고가 발생할 수 있기 때문에 여유수심을 크게 하는 것이 바

람직하다.

(3) 선회장

가. PIANC RULE

1) 선회장의 면적

조선수역은 선박이 속력을 줄이는 데 필요한 수역과 선회에 필요한 수역으로 구성된다. 필요한 조선수역의 길이는 접근 수로에서의 선속을 고려한 선박의 정지거리에 여유 거리를 합한 것이 된다. 이 수역의 폭은 선박을 정지시키기 위한 조선동작 시, 특히 싱글 스크루 선박에 있어서의 기관후진 시 배수류 측압작용에 의한 편위량을 고려하여야 한다. 그리고 수로 입구 부근의 경우, 선박이 횡조류의 영향을 받는 수로로부터 정수상태의 해역으로 진입할 때 선미쪽은 조류의 영향을 받지만 선수는 더 이상 조류의 영향을 받지 않으므로 인해 발생하는 조선상의 특성을 고려하여 조선수역의 폭이 늘어나야 한다.

정상적인 상태 하에서 선회할 때의 선박과 예선의 이동을 위하여 필요한 선회수역의 모양과 크기는 대상 선박의 길이와 특성에 따라 다음 Fig. 3.2와 같이 정의된다.

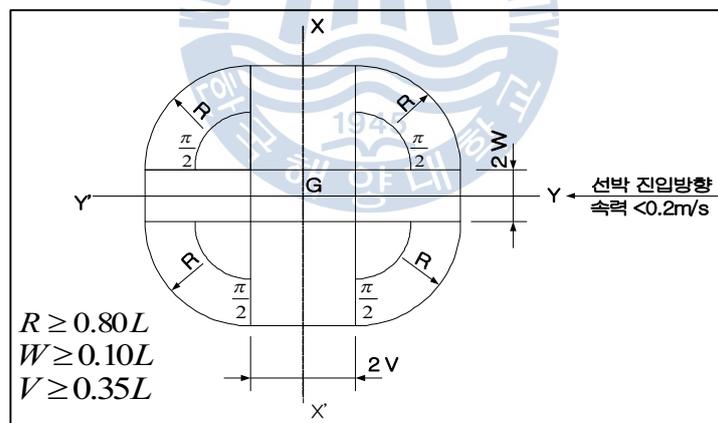


Fig. 3.2 Size of turning circle (PIANC Rule)

Fig. 3.2에서 XX' 와 YY' 는 선회수역의 대칭축을 나타내고, V 와 W 는 이 두 축으로부터 선박의 선회동작 전 정지상태가 되는 선박의 중심점이 G 점과 비교할 때 이탈되는 최대의 거리를 나타낸다. 대부분의 경우 선회수역의 중심점 G 는 선박의 이론적인 침로 상에 존재하며, 이 지점에서의 선속은 통상 0.20m/s 이하이어야 한다. 만약 선박이 예인선의 조력을 받아 이론적인 침로를 지킬 수 있고, 선회수역의 중심이 잘 표시되어 있다면 W 를 $0.10L$ 이하로, 그리고 V 를 $0.35L$ 이하로 할 수 있다. 실질적인 모든 경우에 필요한 선회수역의 크기는 선체 길이의 두 배에 해당되는 지름을

갖는 선회권이다. 정상적인 상태는 선박이 적절한 엔진 마력을 갖는 적당한 척수의 예인선의 지원을 받아야 하며 조류는 0.1m/s 이하이고 선회하는 선박이 경하흘수 상태라면 바람은 10m/s 이하를 말한다. 만약 예인선의 지원이 충족되지 아니하는 경우에는 선박의 자력 선회가 가능하도록 선회수역의 크기가 선체 길이의 3배 이상의 직경을 갖는 원으로 정해진다. 그리고 조류, 바람 조건이 충족되지 아니하는 경우에는 선회조선 동안의 선박과 예인선의 움직임에 필요한 수역은 조선하는 동안의 선박의 편위량을 고려하여 전술한 권고안에 따라 정해져야 한다.

2) 선회장의 수심

선회수역의 수심은 앞에서 기술한 항로의 수심에 관한 권고사항에 따라 결정된다. 단, 조선수역이 swell로부터 보호되어 있다면 swell에 의한 선체의 움직임은 무시할 수 있고 속력에 의한 squat 현상도 비슷하게 무시할 수 있다.

나. 미국

선회수역은 최대 통항 선박 길이의 1.5배의 길이를 직경으로 하는 선회권을 확보할 수 있어야 한다. 선박 통항에 여유가 있으면 Fig. 3.3에 보이는 바와 같이 항로를 선회수역의 일부로 활용할 수 있다. 바람 또는 조류가 강하거나 선박의 통항량이 매우 많은 경우에는 선회구역의 크기는 더욱 확대되어야 한다. 선회수역의 모양은 긴 변이 항로의 외곽선과 일치하는 사다리꼴 형태를 주로 취한다. 짧은 변의 길이는 최소한 최대 선박의 선체 길이의 1.5배가 되어야 한다. 측면은 항로의 외곽선을 이루는 아랫변과 약 45° 의 각도를 갖도록 하는 것이 보통이다. 조류 등에 의한 해저 퇴적을 바람직한 방향으로 유도하기 위하여 필요한 경우 및 선박 선회시의 추가 항진 거리를 고려하기 위한 경우에는 다른 모양으로 바꿀 수도 있으나 그 크기를 줄여서는 안 된다. 선회수역을 설계할 때에는 조류의 크기와 방향의 변화에 대하여 각각의 설계안별로 충분한 검토를 거쳐야만 한다.

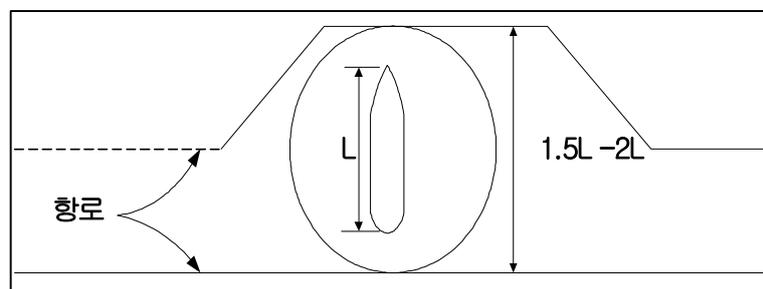


Fig. 3.3 Design standards of turning waters in American

선회수역의 최소 수심은 최대 선박의 흘수에 트림과 최소한 1피트의 안전여유수심을 합한 값이 되어야 한다. 해저 퇴적이 심한 곳에서는 2회의 준설기간 사이에 퇴

적한 값과 준설오차 등을 추가로 고려하여야 한다.

다. 한국 및 일본

선박의 선수를 회전하는 데 필요한 선회수역의 규모는 선회의 형태, 선박의 선회 성능, 계류시설, 항로의 배치, 기상·해상조건 등을 고려하여 결정하여야 한다. 선회수역의 면적은 자력으로 회두하는 경우 3L을 직경으로 하는 원, 예인선에 의한 회두의 경우는 2L을 직경으로 하는 원을 표준으로 한다. 지형 등에 의해 부득이한 경우에는 Anchor, 바람 또는 조류를 이용할 수 있으므로 자력에 의한 회두의 경우 약 2L을 직경으로 하는 원, 예인선에 의한 회두의 경우 약 1.5L을 직경으로 하는 원으로 줄일 수 있다.

3.1.2 수역시설에 대한 적합성 검토

(1) 대상선박 제원 및 운항조건

Table 3.3과 같이 선박 제원은 VLCC(300,000 DWT)의 Half cargo loading 상태에서 선박흘수 13.5m와 Ballast condition 선박흘수 9.5m를 대상으로 검토한다. VLCC 운항조건은 Full Cargo(200만 배럴, 286천 DWT)상태에서 울산CLX SK에너지 부두에서 1차 Half Cargo(선박흘수 13.5m기준)를 하역하고, 인천CLX #제3부두 SK에너지 부두에서 2차 하역 후 Ballast condition으로 인천을 출항한다. 인천항 운항회수는 월 3~4회다.

Table 3.3 Target vessel specifications

선박화물 적재상태	선박 길이 (L, m)	폭 (B, m)	깊이 (m)	흘수 (D, m)	AIR DRAFT (m)	KTM 선저에서 마스트까지	WTM 수면에서 마스트	인천대교 수면(M.S.L)에서 상판까지 (m)
FULL CARGO	332	58	29.6	22	7.648	66.3m	44.3m	74 ※ H.W.L에서 상판까지 거리 = 69m
HALF CARGO				13.5	16.148		52.8m	
BALLAST COND.				9.5	20.048		56.7m	

(2) 항로 수심

Table 3.4와 같이 관련 설계기준 검토결과 항로수심은 DL(-)15.60m로 검토되었다. 그러나 대상선박은 주간 고조 정조시에만 대상부두에 접안토록 하기 때문에 대부분의 항로수심은 20미터 이상을 확보할 수 있으므로 항로 수심은 만족하는 것으로 판단된다.

Table 3.4 Fairway depth

구 분	산정 기준(반선시)	계산결과
PIANC RULE	$H=D+0.15D$ (swell노출 경우)	15.525m
NAVFAC DM-26	$H=D+D_s+D_r+D_t+D_w$	15.60m(파고: 2m 경우)

(여기서 D : 13.50m, D_s : 0.5m, D_r : 0.3m, D_w : 1.0m 적용)

(3) 항로 폭

Table 3.5에 나타낸 바와 같이 VLCC(30만 DWT급) 왕복기준 항로 폭은 각종 국내외 설계기준에서 필요 항로 폭이 477.0m~596.0m로 검토되었으며, 실제 대상선박들이 교행을 하게 되는 제1항로상(최소 항로 폭 500m)에서의 최대 선박간의 교행시(30만 DWT+10만 DWT)에 필요한 항로 폭은 430m로 항로 설계기준을 만족하는 것으로 검토되었다. 우리나라 항만 및 어항설계기준과 PIANC Rule에서는 왕복항로에 대한 항로 폭 검토 시에 각각 대상선박의 길이 및 폭을 사용하여 기준을 정하고 있지만, 실제 30만 DWT급 선박의 월 이용횟수는 3-4회 정도로 대상항로(인천항 1항로)에서 30만 DWT급 선박이 왕복 통항하는 상황은 발생하지 않을 것으로 판단된다. 따라서 현실을 가장 잘 반영하고 있는 왕복항로 교차선박의 최대선박을 이용하여 항로 폭의 적정성을 평가하는 NAVFAC DM-26이 가장 현실적이다.

Table 3.5 Fairway width

구 분	산정 기준 (B2=40m)	계산 결과	비고
◦ 항만 및 어항설계기준 (해양수산부, 한국) ◦ 일본항만시설물설계기준	1.5L (항로의 길이가 긴 경우)	498m	VLCC (30만 DWT급) 왕복기준
PIANC RULE	8.0B~10.0B	464m~580m	
NAVFAC DM-26	ship, bank clearance를 고려한 관련기준 적용 5.4B~8.5B	313.2m~493m	
검토 결과		500m	인천항항로 폭500~1000m
NAVFAC DM-26	ship, bank clearance를 고려한 관련기준 적용 (3.2B1~5.0B1)+(2.2B2~3.5B2)	273.6~430.0m	30만DWT+ 10만DWT 교행

(4) 선회수역

앞에서 제시한 대상선박의 각 기준에 따른 필요 선회장을 산출한 결과를 Table 3.6에 제시하였다.

Table 3.6 Required turning circle on fairway design criteria for 30 DWT VLCC

구 분	선회장	필요 선회장(m) (L : 332m)
미국 항로설계 기준	1.5-2.0L	498 ~ 664
일본과 한국	2L	664

부두 전면수역에 필요한 선회장은 미국 항로설계기준에서는 최소 498m에서 최대 664m가 필요하며, 일본과 우리나라의 경우에는 예선의 도움을 받는 경우 664m가 필요한 것으로 조사되었다.

대상부두의 전면해역에는 대상선박이 접·이안시에 필요한 선회수역 2L(664m)을 확보하지 못하고 있으며, 따라서 Fig 3.4와 같이 대상부두 서측해역[DL(-)14m]을 준설하여 붉은색으로 표시한 선회수역을 최소 680m 확보하며, 창조류시에 선박이 북측으로 압류될 위험을 대비하여 그림에서 파란색(원의 좌측하단)으로 표시한 부분을 추가 준설토록 한다. 준설량 및 준설면적은 Table 3.7과 같다.

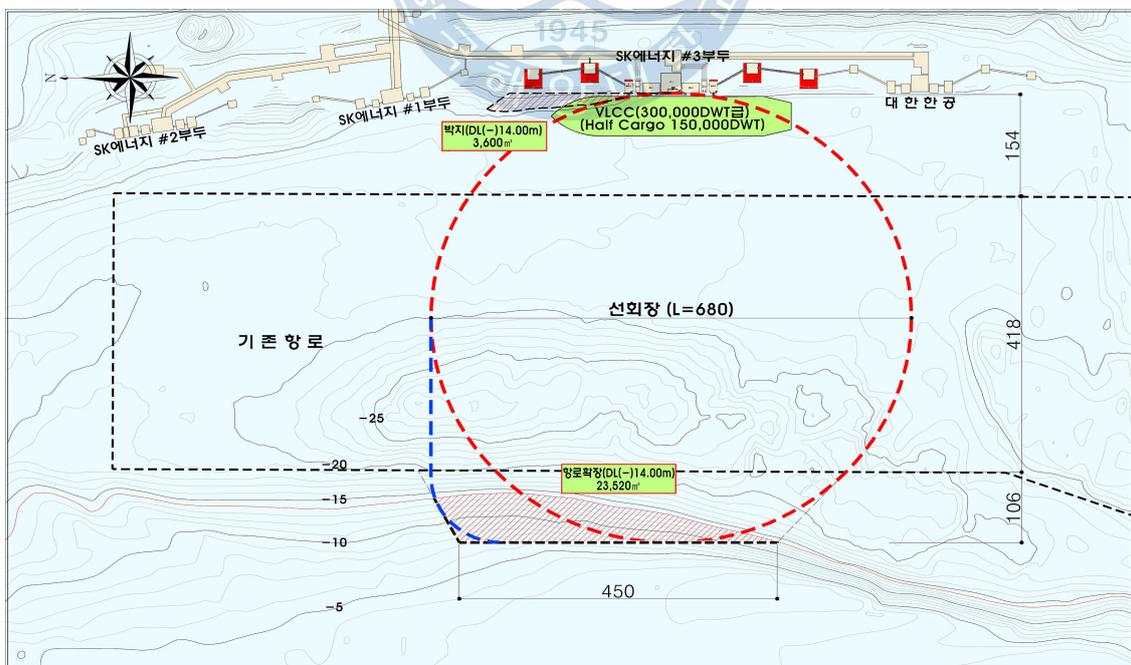


Fig. 3.4 Turning waters(2L) and additional dredging location

Table 3.7 Dredging amount and dredging area

구 분	항로확장	박지(유지준설)	계
준 설 량	127,600m ³	33,700m ³	161,300m ³
준설면적	23,520m ²	3,600m ²	-

(5) 인천대교 교량의 형하고

일반적으로 교량의 형하고 검토 시 고려해야 할 항목은 Table 3.8과 같다.

Table 3.8 Calculation of considered item for bridge type

항 목	내 용	계산치
① 대상선박 Air Draft	경하흘수선 기준	56.7m
② 선박의 트림	30~60 cm (NAVFAC DM26)	0.30m
③ 파고	설계파고의 1/2(2.0m)	1.0m
④ 교량의 처짐	지간장/400	0.2m
⑤ 선체동요량	선체동요량은 설계파고가 2.0미터이기 때문에 그 영향을 무시한다.	0.00m
⑥ 조석오차	일반적으로 조석의 오차는 조시 20~30분 이내, 조고 0.3m 이내	0.30m
⑦ 기압에 의한 해면 상승	기압이 100hpa 하강하면 해면은 약 0.1m 상승	0.05m
⑧ 흘수오차	흘수 읽기 과정 또는 계산과정에서의 오차	0.00m
⑨ 심리적 여유량	조선자의 심리적 여유 높이	2.00m
검토 결과	계획 형하고 69.0m(약최고고조위 기준)	60.55m

VLCC의 인천항 안전통항을 위하여 인천대교 통항의 안전성을 검토하면, 위의 Table 3.8로부터 ②~⑨ 항목의 합계는 3.85m이고, 교량 통과를 위해 선박이 밸러스팅을 할 경우에는 그 값이 더 작아진다. 대상선박의 경하흘수(Lightship condition) 상태에서 Air draft가 56.7m로서 ②~⑨ 항목의 합계인 3.85m를 더한 값은 60.55m가 되고, 인천대교의 형하고가 69.0m이므로 여유 형하고는 8.45m(69.00 - 60.55)로서 형하고의 안전성은 확보된다고 판단된다.

제 4 장 VLCC의 조종특성

4.1 천수영향과 VLCC의 선체운동

4.1.1 천수의 영향

(1) 천수에서의 속력의 저하

천수에서는 가속된 선저수류 때문에 마찰저항이 커질 뿐만 아니라, 이로 인하여 침하된 선체는 흘수를 증대시켜 침수면적을 넓힘으로써 마찰저항으로 인한 속력의 감소는 더욱 커진다. 또한, 미처 유통하지 못한 물이 선수 전방으로 밀리면서 고압부를 형성하여 저항으로 작용하는 것 이외에 선저를 통하지 못하고 선측으로 배제된 물은 압력변화의 범위가 넓어짐에 따라 조파를 증대시켜 속력을 저하시킨다. 빠른 속력으로 선저를 통과한 물은 선미에서 급속히 사상향(斜上向)으로 떠오르며 난류를 형성하여 추진기(propeller)의 효율을 감소시킬 뿐만 아니라 타효를 떨어뜨려 조타를 유발시키는데 이러한 것들은 모두 추진효율 감소로 나타나며, 선저의 가속된 유속은 흡인력을 유발하고 이것은 전진에 대한 저항으로 작용하여 속력을 저하시킨다.

(2) 항주중의 선체침하와 흘수 및 트림변화

수심이 충분하지 못할 때에는 선저와 해저 간을 유통하는 수류의 단면적이 적기 때문에 “연속의 법칙”에 의하여 유속이 빨라지게 되고 유속이 빨라진 선저하의 압력은 Bernoulli의 정리에 의하여 감소되며 이러한 선저하의 압력 감소로 인하여 선체가 침하하고 흘수가 증대된다. 선체주위의 수압분포가 변하면 그 수면에 대하여 선체가 균형있는 자세를 취하기 때문에 선체침하(Bodily sinkage)는 정지시보다 더욱 침하하며 선체전후의 침하량이 다르기 때문에 항주 중에 트림이 변화한다.

천수 항주 중의 트림변화는 수심이 낮을수록 선수트림으로부터 선미트림으로 저속상태에서 일어난다. 실제 천수역에서는 Maneuvering speed로 항주하기 때문에 선수트림으로 항주한다고 볼 수 있다. VLCC에서는 특히 여유수심을 결정할

때 선체침하가 문제가 된다. 수심과 흘수의 비가 1.1~1.2정도의 낮은 수심에서 수조실험 결과는 선수, 선미의 침하량은 수심이 낮을수록 커지고, F_n 0.15까지는 선수의 침하가 크게 되어 선수트림의 경향이며, 초기트림이 등흘수의 만재에서는 선수저축의 우려가 있다. 초기트림을 크게 하여 항행하면 반드시 선수트림이 되지 않고 초기트림을 조장하는 쪽으로 트림이 변화한다. 평균 트림량에 변화는 없지만 초기트림이, 선수트림일 때는 더욱 선수트림을 조장한다. (大)등흘수일 때는 항주 중에 선수트림으로 된다. (中)선미트림일 때는 작지만 선미트림으로 된다. (小)따라서 초기트림을 선미트림으로 하여 놓고 천수항주중 등흘수가 되는 것은 h/d 가 1.3정도까지의 수심이며 h/d 가 1.2보다 낮은 수심에서는 0.3% L의 초기트림을 주면 등흘수로 되지 않고 오히려 선미트림을 조장하여 선미가 해저에 저축할 우려가 있다.

(3) 타력에 미치는 천수의 영향

선저를 통과한 가속수류가 선미부에서 부상하며 난류를 형성하는 것과 선미의 강한반류(伴流)로 인하여 타력은 완만하게 저하하여 타효의 저하를 가져 온다. Propeller의 회전수가 일정할 때는 여러 가지 원인으로 인하여 천수에서 선속이 감소되므로 propeller 방출류의 slip이 커져서 타력이 증대된다. 타판(舵板)의 하단이 해저에 가까워지면 타판을 지나는 수선(水線/流線)이 잘 정리되어 타력이 좋아진다. 천수에서는 부가질량이 증대하여 타력을 둔감케 하는 원인이 된다. (그러나 부가질량의 영향으로 외력의 영향에 대한 방향안정성 즉, 침로안정성은 좋아지는 경향이 있다.) 타력은 이상과 같은 원인이 종합적으로 작용하여 그 영향이 나타나지만 다른 원인에 의한 타력의 증가분은 그리 크지 않고 다만 부가질량 및 부가관성능률의 영향으로 선회에 대한 저항이, 특히 천수에서 증가하기 때문에 천수에서의 타효는 심수(深水) 때보다 저하한다.

(4) 천수가 선회조종성에 미치는 영향

선박이 천수수역을 항행하면 침로안정성의 향상과 선회성 저하를 가져온다. 수심이 낮아지면 가상선회관성 모멘트(假想旋回慣性 Moment), 선회저항 모멘트(旋回抵抗 Moment), 타력이 모두 증대한다. 증대의 정도를 비교할 때, 선회저항 Moment는 다른 두 요소보다 더욱 증대하므로 이들을 조합한 조종성지수 T, K는

$$\text{즉, } T = \frac{\sum}{b} = \frac{\text{선박의 가상선회관성 Moment}}{\text{선회저항 Moment}} \text{ 계수}$$

$$K = \frac{a}{b} = \frac{\text{타력에 의한 선회 Moment}}{\text{선회저항 Moment}} \text{ 계수}$$

모두 분모 값이 분자 값보다 비교적 크게 되기 때문에 T, K는 모두 작아진다. T가 작으면 추종성(침로안정성)이 좋아지고 K가 작으면 선회성이 나빠진다. 천수에서의 선회성은 초기 선회 Moment의 감소와 회두 저항 Moment의 증가로 크게 떨어지는데 ($\frac{h}{d} \leq 2.5$ 에서부터)수심이 흘수의 2.5배 이하가 되면 그 영향이 급증하고 $\frac{h}{d} = 1.25$ 에서 선회경은 침수역의 2배, 회두각속도는 $\frac{1}{2}$ 배가 된다. ($\frac{h}{d} \geq 4$ 면 무시할 수 있다.)

(5) 천수에서 트림의 변화

선박이 항주하게 되면 조파의 영향과 선측의 압력분포 및 선저를 따라 흐르는 수류의 압력변화로 인하여 정지 시와는 다른 Trim(트림)의 변화가 생긴다. Fig. 4.1은 천수에서의 수압의 변화이다.

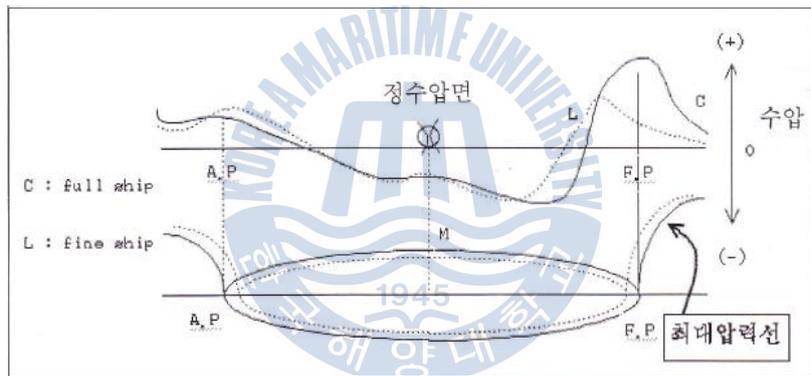


Fig. 4.1 Changes of water pressure in shallow water

통상 선박이 항주할 때에는 Fig. 4.1과 같이 선수미는 압력과 수위가 높고 중앙부는 수위와 압력이 낮으며 유속이 빨라진다. 비만한 선박일수록, 선속이 빠를수록 이러한 현상은 심하다. 천수역 항주 시에는 선측의 유속이 더욱 빨라지게 됨으로 인하여 선측의 수위는 더욱 낮아지며 흘수의 변화가 심해진다. 이러한 선체 침하 및 흘수의 변화를 나타낸 것이 Fig. 4.2이며, 천수역에서는 저속에서도 선체의 침하가 크고 선수 Trim에서 선미 Trim으로 변화하는 시기도 빠르다. 처음은 선수 Trim에서 선속이 증가함에 따라 F.N. ≥ 0.3 (속장비 ≥ 1.0)에서 선미 Trim으로 변한다.

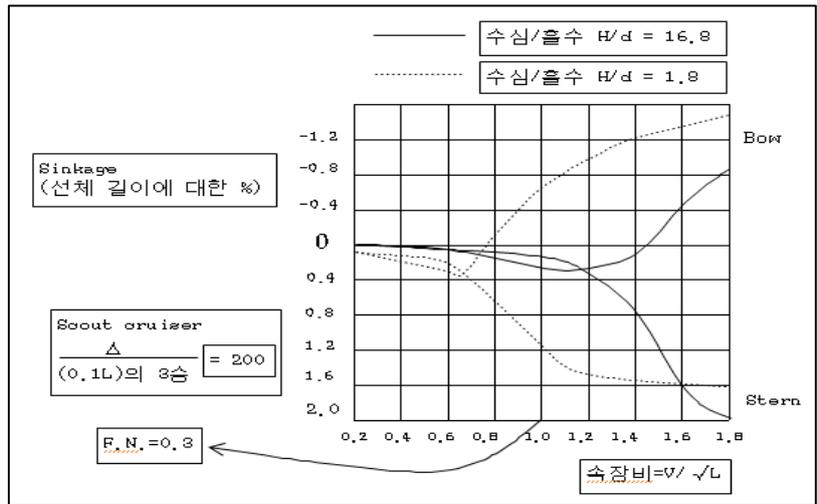


Fig.4.2 Ship's sinking and changes of draft in shallow water

Fig. 4.3은 대형 Tanker의 모형실험으로써 수심이 얇을수록 선체침하 및 Trim의 변화가 크고 선수 Trim이 가장 커지는 시기와 천수에서 선미 Trim으로 변하는 시기가 빨라짐을 보여준다.

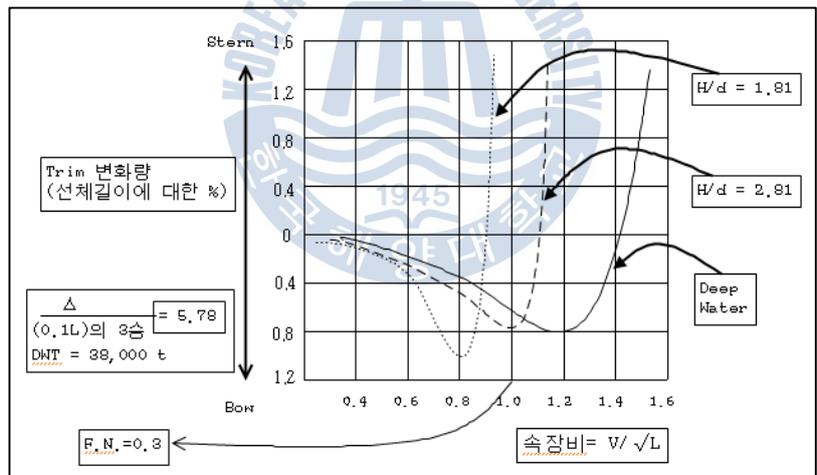


Fig. 4.3 Changes of trim of VLCC in shallow water

선수 Trim에서 선미 Trim으로 변하는 이유는 심해를 항주할 때에 파의 수립자는 완전한 원운동을 하게 되지만 수심이 충분하지 못하면 파의 수립자는 타원운동을 하게되므로 파속이 늦어져($V_w = \sqrt{gh}$, h는 수심) 선속보다 뒤쳐지게 된다. 그리하여 선수는 앞쪽 장파의 파정(波頂)을 타게 되나 선미는 후방의 파가 뒤쪽으로 처져서 파저(波低)에 위치하게 되어 선수측에 작용하는 부력과 선미에 작용하는 중력으로 인하여 선미 Trim으로 된다. 전진시 추진기의 배수류에 의한 흡인작용으로 선미부는 더욱 저압이 되고 선속이 증가 할수록 그 영향은 더 커

진다.

(6) 선체에 진동 발생

선미의 반류 및 와류가 증대되어 Propeller의 각익(各翼)의 추력차가 생기고 Torque에 불규칙한 변동을 주어서 이상한 선체 진동이 발생한다. 선체침하로 인한 Mean draft의 변화량을 선체 침하량(sinkage)이라 하며 이러한 선체침하 현상을 Squat 또는 Squating이라고 한다. 고속선에서 나타나는 선미 침하를 칭하는 말이었으나, 근래에는 대형선이 천수역 항주시에 나타나는 선수침하를 칭하는 것이 보통이다. 해저의 기복이 있는 천수역에서 흡인력이 작용하여 수심이 얇은 쪽으로 흡인되는 현상을 Swelling the bottom이라고 한다.

(7) 선체 침하량의 약산식(Barrass의 식)

가. 제한수로 $Max.Sq = 2 \times Cb \times \frac{v^2}{100}$ (mtr) 조건: h/d가 1.1~1.4 범위

나. 심수수역 $Max.Sq = Cb \times \frac{v^2}{100}$ (mtr) ($v: Knts$), Cb : 방형비척계수

4.1.2 선저 여유 수심

(1) 선저 여유 수심의 의미

선저의 여유수심이란 선박이 정지하였을 때 선저 Keel하에서부터 해저까지의 깊이의 여유공간을 말하며, 이는 다음과 같이 표현할 수 있다. 즉, “선저여유수심 = 해도상의 최소수심+당시의 조고-본선정지중의 흘수”로 표시된다.

(2) 선저여유수심이 부족할 때 생기는 현상

항만의 입출항과 같은 대형선들의 운항에 있어서 UKC(Under keel clearance, 이하 UKC)의 부족할 때 생기는 현상은 선체저항의 증가로 인하여 속력이 저하되고 타효가 떨어져서 선박조선에 상당한 시간이 걸리므로 풍조의 영향을 받아 조선이 곤란해지며, 선체 전체가 침하하여 선저가 접촉되거나 기관 및 추진기에 장애가 생길 우려가 있고 선체 동요시 및 Anchor 사용시 선저와 접촉, 손상의 우려가 있다.

(3) 천수수역 항행시의 여유수심

수심이 낮으면 유체역학적 영향을 강하게 받아서 조선이 곤란해질 뿐만 아니라, 수심이 극도로 낮게 되면 선저접촉 위험은 물론이고 선체 침하로 흘수가 증

대되고 속력이 감소되며 타효가 둔해지며 선회조종성이 나빠진다. 타에 의한 보침, 변침 조작이 극히 저하하여 때로는 조선불능이 된다. 부가질량의 증대로 인하여 계박 조선시 횡이동이 어려워지며(부가질량이 심수의 3배에 이른다.), Trim의 변화가 생기고 선체에 진동이 발생한다.

여유수심이란 아래와 같은 요소들을 고려하여야 한다.

(해도수심 + 기준조고) - 정지시의 선박 흘수 = 해도의 수심오차 + 해기상에 따른 기압변화와 이상조위 + 선체침하량 + 파에 의한 선체의 상하운동 + 조선안전 여유(조종성 확보를 위한 여유) + 해저凹凸의 여유

여유수심의 구성과 결정은 Fig. 4.4와 같이 수심의 오차, 해저 장애물, 유출토사, 해중 장애물, 선체동요에 기인한 침하량, 토묘에 대한 여유등을 고려하여야 하며 천수역에서는 배의 거동이나 조종성은 선박의 상태나 환경 조건 및 조선지원 상황에 지배되므로 이들 상황도 고려하여 적절한 허용량을 설정하여 결정하여야 한다.

항로 경계나 유도선의 지원, 항행 원조 시설의 상황, Tugboat의 조선 지원, 명시된 각국의 여유수심 한도는 Table 4.1과 같다. 하지만, 여유수심의 표준치는 각종 물리적 요소에 각 항만에 따른 실상을 배려하여 결정하여야 한다.

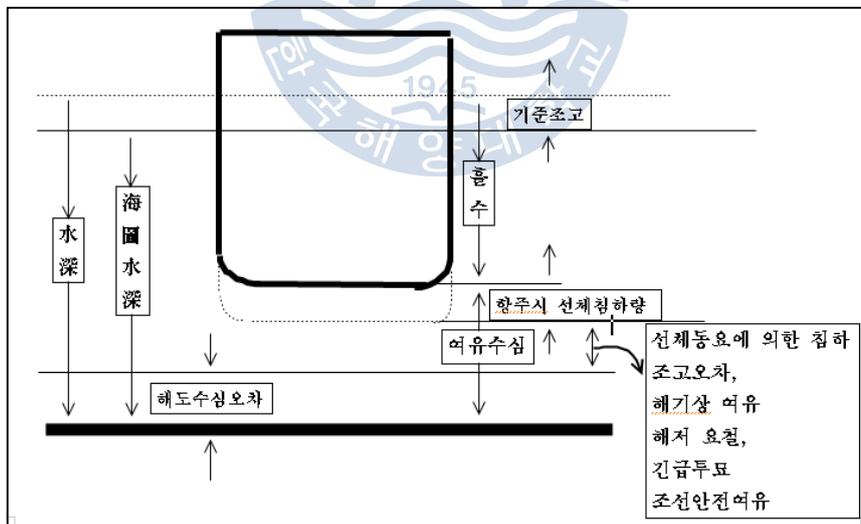


Fig. 4.4 Various elements for the decision of the clearance depth

Table 4.1 The clearance depth limit of the countries

선박흘수	~ 5 m	~ 7 m	~ 9 m	~ 12 m	~ 12m 이상
여유수심	0.5m 이상	1.0m 이상	1.5m 이상	2.0m 이상	2.5m 이상
%	10 %	14 %	17 %	17 %	

천수에서 조선시의 대책으로는 감속 항행하여 선체침하에 의한 천수영향을 최소화하고 가능하면 만조 시에 출입항하여 충분한 여유수심을 확보한다. 선체동요에 의한 흘수증가에 대한 영향을 고려하여 주의하여 조선하며 충분한 Tugboat의 조선보조를 받는다. $h/d < 1.4$ 일 때 특히 경계하여 조선한다. (h; 수심, d; 흘수)

4.1.3 천수에서의 선체운동

천수에서의 선체운동(Ship's behavior in shallow waters)은 깊은 수역에서의 반응과는 현저히 다르다. 선박이 천수구역에 진입하면 실제적인 선체운동이 조선 명령에 대한 반응이 늦다. 때때로 선체운동이 일반적인 직관과는 정반대로 움직일 때도 있고, 깊은 수역일 때에 비해 엔진의 출력이 동일할 경우 선속과 Propeller RPM이 현저히 감소하는 경향이 있다. 일반적으로 선체 전단부에 조파가 증가하며 선체가 물로 인한 여자력(Water induced exciting force) 때문에 대개 진동하기 시작한다. 이는 여자력의 주기가 선체의 자연주기와 공진하기 때문이다. 조선에 영향을 미치는데 천수에서는 깊은 수역에서 보다 선회반경이 크고 지그재그 조선시 각도가 커진다. 일반적으로 심수에 비하여 선회성은 저하되고 침로안정성 및 추종성은 향상된다.

(1) 천수에서의 선체침하

선박이 제한된 수심(폭은 제한되지 않음)의 흐름(Flowing Stream)에 놓여 있다면 선체 밑을 흐르는 물은 수심이 깊은 곳에서 훨씬 속도를 더할 것이다. 결과적으로 압력은 감소되고 침하, 트림 및 저항은 증가할 것이다. 압력저하는 일반적으로 선체가 물에서 수직으로 마치 해저면으로 그대로 내려앉듯이 침하하게 되고 선체주위의 압력분포가 변화하여 선체에 트림을 야기하게 된다. 이 두가지 결과로 인한 선체여유수심(UKC)의 감소치 합계를 선체침하(Ship Squat)라 한다. 즉, 천수구역에서 선박이 항행할 때 일반적으로 일어나는 선체침하와 Trimming Effect의 대수합계를 말한다. 이러한 선체침하는 방형비척계수(C_b)가 크고 속력이 느린 유조선 또는 산물선(Bulk carrier)의 경우 선수트림을 야기하고, C_b 가 작아 날씬하고 고속인 컨테이너선, 여객선 등에서는 선미트림이 생긴다.

선체침하에 영향을 주는 요소로는 ① 흘수와 수심의 비(Depth-draft ratio) ② 선형특성 주로 방형비척계수 ③ 선속 등이 있으나 주어진 선형에서 침하에 미치는 영향은 선체 여유수심과 선속이며, 대체로 선속의 제곱에 비례하여 증가하고 C_b 가 0.7일 경우 대체로 나란히 침하하며 0.7 이하에서는 선미 트림이 생긴다.

선체가 침하하면 선체의 측면적이 증가하여 타면적비가 줄어들고 타효가 감소한다. 또한 침수면적의 증가로 전진저항이 증가하여 선속이 감소된다.

VLCC에 대한 최대 선체침하량의 약산식(C.B Barras의 약산식)

$$\text{제한수로 } Max.Sq = 2 \times Cb \times \frac{v^2}{100} \quad (mtr)$$

$$\text{넓은 수역 } Max.Sq = Cb \times \frac{v^2}{100} \quad (mtr) \quad (v: Knts)$$

(2) 천수가 조종성능에 미치는 영향

천수가 선박의 선회성지수와 추종성지수 K 및 T에 미치는 영향을 보면, 천수에서는 일반적으로 심수에서와 비교하면 선회성이 저하하고 침로안정성 또는 추종성이 향상된다. 이는 수심이 얕아지면 부가관성 모멘트, 선회저항 모멘트, 타압 모멘트가 모두 증가하는 데 그중 선회저항 모멘트의 증가율이 다른 것보다 훨씬 크게 되기 때문이다. 즉, 침로안정성은 향상되고 선회성이 저하하여 선회경이 커진다. 실험에 의하면 선회경은 측방향으로 증가하는 데, 이는 선박이 선회를 시작함에 따라 타압 모멘트는 상대적으로 감소하는 데 비하여 선회저항 모멘트가 증가하기 때문으로 볼 수 있다.

(3) 천수영향에 대한 대책

선저여유수심이 적어지면 선저부와 해저 사이의 유속이 증가되어 수중의 압력이 감소됨으로써 흘수가 증가하고 마찰저항이 커지게 되며 속력과 타효가 떨어진다. 이러한 천수영향으로 인한 조선의 곤란은 선저의 평평한 면적이 증가함에 따라 급격히 증대된다. 어느 정도의 여유가 있으면 되는가 하는 문제는 속력, 선형 및 그 크기, 배수량의 크기 등에 따라서 달라지나 Handy size 화물선의 경우 1.5m 이상 있으면 주의깊은 항내조선에서는 지장이 없다고 볼 수 있으나, 1m에 가까워지면 곤란을 예상하고 조선하여야 한다.

천수의 영향으로 선체와 해저사이에 상호 흡인력이 작용할 경우 조선에 있어서 가장 중요한 조치는 감속이다. 타효를 유지할 수 있을 정도의 선속으로 감속하여야 한다.

보통 Blockage factor가 60%에 달하면 선속을 2~3kt로 감속 운항하는 것이 안전하다고 한다. 이는 천수영향을 최소화하고 선체침하량을 줄일 수 있다. 또한, 천수역에서의 여유수심 항목을 참조하도록 하고 여유수심을 충분히 확보하기 위하여 불확실하면 고조시를 택하여 항해하도록 한다. 특별히 천수역 또는 수심 불명 지역을 항과할 때에는 가능한 고조시에 항행하도록 한다. 배수량이 3만톤 이상이고 여유수심이 1.5m 이하이면 충분한 예선을 준비토록 해야하며, 항내에서의 접이안 조선에서는 배수량과 여유수심에 따라서 충분한 tugboat를 사용하도록 하

여야 한다. 이는 천수영향으로 인한 부가질량 등의 영향으로 저항이 급증하기 때문이다. Swell, Heeling 및 선체동요로 인한 흘수증가를 고려하고 여유수심 산정에 있어서 Swell, Heeling 및 선체의 동요로 인한 흘수의 증가 등을 고려하여 예상 Swell이나 파고의 2/3를 가산하도록 한다. 변침 시에는 대각도 변침대신에 수회의 소각도로 나누어서 수행해야 한다. UKC가 충분하지 못할 때 선체와 해저 사이에 생기는 상호 흡인력과 부가질량의 증가는 타효와 선체의 선회성을 떨어뜨린다. 특히 한 번에 대각도를 선회함으로써 생기는 선체의 경사나 선회타성은 조선에 무리와 위험을 가져오게 되므로 선회는 소각도로 수회 나누어서 행하는 것이 바람직하다. 저속 항행 중에 보침 또는 선회성의 개선을 위하여 잠시 기관을 Kick ahead로 하는 것도 방법의 한가지이나 Gather way되지 않도록 주의가 필요하다. 증속 타력과 부가질량이 커서 속도의 증가는 타효보다 훨씬 늦게 나타남을 이용하도록 한다.

(4) 제한수로에서의 VLCC의 조선

일반적으로 침로의 안정과 불안정을 논할 때 K, T 값의 비교로써 조종성의 난이도를 짐작한다. K, T가 적당히 크면 응답이 빠르고 선회경이 적어서 조선이 쉽고 K, T가 지나치게 커도 오히려 조선이 곤란한 경우도 있다. VLCC는 선회성지수(K)는 그 길이에 비하여 (Pivot point에서 타까지의 거리(arm)가 크다) 큰 편(좋은 편)이어서 선체길이에 비례한 선회권이 적은 편이고, 추종성지수(T)는 지나치게 커서(특히 만선시에는 80초에 이르는 경우가 있다.) 조타에 대한 응답이 매우 늦다. 따라서 VLCC에서는 침로의 안정, 불안정과 조선의 난이도를 직접 관련짓기 어렵다.

해저 경사면의 등심선을 따라서 항해할 때에는 선수를 물이 흐르기 쉬운 깊은 쪽으로 미는 회두 Moment를 받는다. 따라서 똑바로 항주하기 위해서는 선수를 얕은 쪽으로 향하게 하는 타각을 유지하며 조선헌 필요가 있다. 곡선수로에서는 순조시 조선이 편리하다. 선체 주위의 수류에 대한 상대속도가 적어서 유체역학적 영향이 크지 않기 때문이다. 협수로 통과시에 수로의 중심선에서 벗어나 직진하고자 할 때는 선수의 반발과 선미의 흡인에 의한 회두력을 미리 예측하여 사전에 대응타를 쓰는 것이 안전한 방법이다. VLCC는 여유수심을 결정하는데 있어서 발생 가능한 최대 Squat 현상을 고려해야 한다.

VLCC의 항주중 선체침하현상은 Froude Number가 약 0.15인 VLCC는 심수에서 전속 항주시에 선수흘수가 선체장의 0.2%쯤 증가한다. 천수에서도 By the head로 Trim이 변화한다. 천수에서는 고립파(孤立波)의 파속이 다소 늦어지기는 하나(VLCC가 항해할 수 있는 수심 정도에서는 그리 많이 늦어지지 않고), VLCC

의 속력보다 훨씬 빠르기 때문에 Stern Squat 현상은 결코 일어나지 않고 항상 By the head로 Trim이 변한다고 보면 된다.

4.2 314K DWT급 실제 VLCC의 조종성능 시운전 자료

이 자료는 지난 2008년 9월에 현대중공업에서 건조한 318K DWT급 VLCC의 시운전 자료(Result of sea trial for hull part) 중에서 조종성능과 관련된 것이며, 그 중 깊은 수심(Deep water)에서의 조종성 관련 테스트는 선회권(Turning Circle)과 타각 10° 및 20°에서의 지그재그(Zig-Zag) 테스트, Crash stop 테스트, 초기 선회성(Initial Turn-ability) 테스트로 다음과 같다.

4.2.1 선박 제원

이 선박은 만재상태의 314K VLCC로서 길이(LBP) 324m, 선폭(Breadth) 60m, 만재 흘수(Draft) 20.5m, 정상출력(NCR) 31,227HP, 선속(Speed) 16.0kts이며, 현대중공업에서 건조한 표준선형의 선박이다.

4.2.2 선회권 시험

Table 4.2의 조건에서 Table 4.3과 같이 선회성 평가를 위해 실제 VLCC 우현 선회를 한 결과 Advance는 885m(2.7LBP)로 IMO(International maritime organization, 이하 IMO) 조종성능기준인 4.5LBP(Length between perpendiculars, 이하 LBP)이하를, Tactical Diameter는 842m(2.6LBP)로 5.0LBP이하를 만족하였다. 좌현 선회의 결과도 마찬가지로 Advance는 889m(2.7LBP), Tactical Diameter는 859m(2.7LBP)로써 IMO 조종성능기준인 4.5LBP와 5.0LBP 이하를 만족하였다.

Table 4.2 Condition : Design Draft Condition

Weather	Fine	
Sea state	ST. 4	
Sea depth	120~124m	
Draft	FWD	AFT
	20.53 m	20.53m
Relative wind	PORT	STB'D
	S.140 deg.	S.120 deg.
	3.5 m/s	5.0 m/s

Table 4.3 Turning trial result

Turning trial result	PORT	STB'D
Initial course	180 deg.	180 deg.
Initial speed	15.1 kts	15.1 kts
Initial RPM	68 rpm	68 rpm
Sea depth	120 m	124 m
Rudder angle	35 deg.	35 deg.
Advance	885m (2.7LBP) < 4.5LBP	889m (2.7LBP) < 4.5LBP
Tactical Diameter	842m (2.6LBP) < 5.0LBP	859 m (2.7LBP) < 5.0LBP
Ship's position	35°29' N, 129°45' E	35°25' N, 129°46' E

4.2.3 10/10도 ~ 20/20도 Zig-Zag 시험

Table 4.4의 조건에서 변침 능력과 yaw checking 능력을 평가 하기위해 Zig-Zag(10°-10°)와 Zig-Zag(20°-20°) test를 한 결과, Table 4.5, Table 4.6과 같이 1st overshoot angle은 각각 7.5deg, 13.7 deg.로 IMO 조종성능기준 20deg.를 만족하였다.

Table 4.4 Condition : Design Draft Condition

Weather	Fine	
Sea state	ST. 4	
Sea depth	125 m	
Draft	FWD	AFT
	20.53 m	20.53m
Relative wind	S. 120 deg.	
	2.0 m/s	

Table 4.5 Zig - Zag trial (10° - 10°) result

Initial course	180 deg.
Initial speed	15.1 kts
Initial RPM	68 rpm
1st overshoot angle	7.5 deg. < 20 deg.
2nd overshoot angle	23.0 deg. < 40 deg.
Ship's Position	35° 21' N, 129° 46' E

Table 4.6 Zig - Zag trial (20° - 20°) result

Initial course	180 deg.
Initial speed	15.1 kts
Initial RPM	68 rpm
1st overshoot angle	13.7 deg. < 25 deg.
Ship's Position	35° 15 ' N, 129° 46 ' E

4.2.4 Crash Stop Astern 시험

Table 4.8에서 보는 것과 같이 Table 4.7의 조건에서 제동 능력을 평가하기 위해 Crash stop astern을 한 결과, Sailing distance는 4,358m (13.5LBP)로 IMO 조종 성능기준인 15LBP 이하를 만족하였다.

Table 4.7 Condition : Design Draft Condition

Weather	Fine	
Sea state	ST. 4	
Sea depth	119 m	
Draft at gauge	FWD	AFT
	20.53 m	20.53m
Relative wind	S. 60 deg.	
	11.0 m/s	

Table 4.8 Crash stop astern trial result (Date : September 27, 2008)

Initial course	235 deg.	
Initial speed	15.1 kts	
Initial RPM	68 rpm	
Time when RPM = 0	10 min.	20 sec.
Time when speed = 0 kts	15 min.	42 sec.
Sailing distance	4358 m (13.5 LBP) < 15 LBP	
Ship's Position	35° 29 ' N, 129° 41 ' E	

4.2.5 Initial turning ability trial (Stb'd)

Table 4.10에서 보는 것과 같이 Table 4.9의 조건에서 최초 선회 능력을 평가하기 위해 시험한 결과, Sailing distance는 609m (1.9LBP)로 IMO 조종성능기준인 2.5 LBP 이하를 만족하였다.

Table 4.9 Condition : Design Draft Condition

Weather	Fine	
Sea state	ST. 4	
Sea depth	125 m	
Draft at gauge	FWD	AFT
	20.53 m	20.53m
Relative wind	S. 120 deg.	
	2.0 m/s	

Table 4.10 Initial turning ability trial result (Stb'd)

Initial course	180 deg.
Initial speed	15.1 kts
Initial RPM	68 rpm
Rudder angle	10 deg. (Stb'd)
Sailing distance	609 m (1.9 LBP) < 2.5 LBP
Ship's Position	35° 21' N, 129° 46' E

4.3 300K DWT급 모델선박 VLCC의 조종성능 자료

선박조종 시뮬레이션에 사용한 VLCC의 모델선박은 TRANSAS사에서 개발한 300K DWT급 VLCC로 고유모델 명칭은 “Ship Motion Model name: VLCC_9 - Soft version: 3.0.6.0”이다. 이 모델선박의 주요한 조종특성은 아래와 같다.

4.3.1 선박 제원

이 모델선박 VLCC의 선수형상은 구상선수(Bulbous Bow)이고, 선미형상(Stern type)은 브이형상(V-shaped)을 하고 있다. 주 기관(Main engine)은 저속디젤기관(Slow speed diesel)으로 설계출력(Design power)는 약 23,493kW(31,492HP)이고 후진출력(Astern power)은 설계출력의 약 66.5%이고 Pitch ratio는 0.67이다.

이 모델선박에 장착된 프로펠러, 키 및 앵커는 일반선박과 동일한 것으로, 프로펠러 형식(Propeller type)은 FPP(Fixed pitch propeller)의 우선회단활차(Right handed single propeller)이다. 키의 형식(Rudder type)은 Semi-suspended이고 최대타각(Max. Rudder Angle)은 35도이며 수면하의 타면적(Immersed Area)은 109.4m²이다. 양현에 장착한 앵커는 각각 23톤으로 앵커체인은 직경(Diameter of chain) 122mm이고 최대 양묘속도(Max rate of heaving)는 18m/min이다. Table 4.11은 Engine Telegraph Table 이고, Fig. 4.5는 Ship Images 이다.

Table 4. 11 Engine Telegraph Table

Engine order	Speed, kts	Engine power, kW	RPM
Full Sea Ahead	17.6	22,320	78
Full Ahead	16.2	17,679	72
Half Ahead	14.4	12,575	64
Slow Ahead	10.2	4,607	45
Dead Slow Ahead	6.1	1,141	27
Dead Slow Astern	-2.5	2,087	-27
Slow Ahead	-3.6	5,511	-38
Half Astern	-4.4	10,196	-47
Full Astern	-5.1	15,624	-54.4

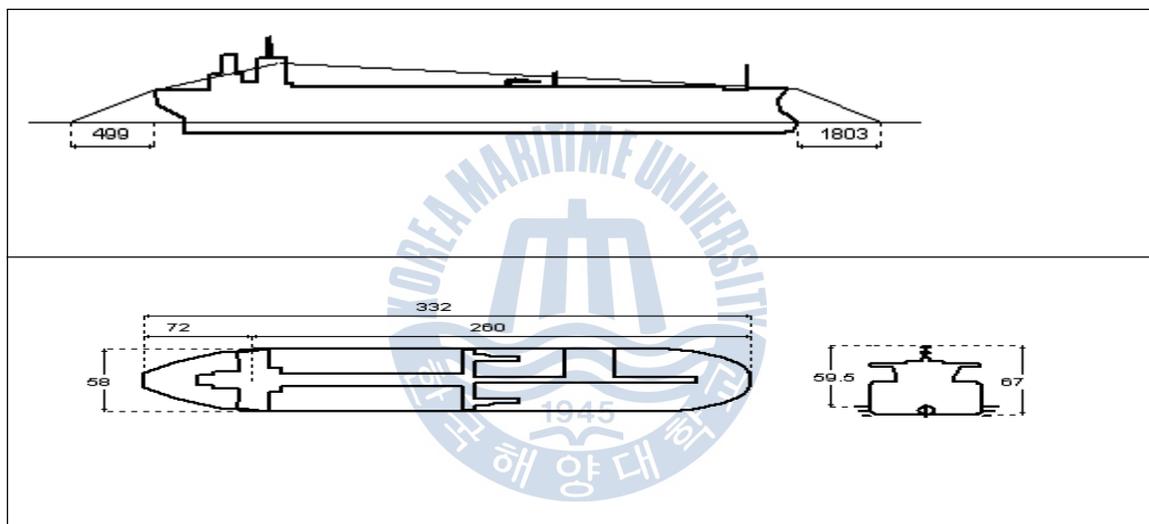


Fig. 4.5 Ship Images

4.3.2 심수역에서의 선박의 조종성능

이 모델선박의 깊은 수심(Deep water)에서의 조종성을 위한 타각 35° 및 20°에서 우현의 선회권(Turning Circle)과 타각 20°에서의 우현 회두 가속력(Accelerating turn), 타각 10° 및 20°에서의 지그재그(Zig-zag) 테스트, 초기 선회성(Initial Turn-ability) 그리고 Pullout 및 Spiral 테스트에 대한 자료는 아래와 같으며, 주변 환경조건은 바람, 조류, 파도 및 얼음조건 등을 모두 무시하였다.

(1) Turning Circle 35° STBD

Table 4.12와 Fig. 4.6은 심수역에서 선박의 조종성능을 평가하기 위해 타각 35° 우현으로 선회하였을 때의 결과로써, Advance는 721.54m(2.25 LBP)로 IMO

조종성능기준인 4.5 LBP 이하를, Tactical Diameter는 713.62m(2.23 LBP)로 5.0 LBP 이하를 만족하였다. 초기속력은 17.69kts, Final속력은 7.08kts로 59.77% 속도 손실이 있었으며, Pivot point는 0.24LBP였다.

Table 4.12 Basic parameters

Initial engine telegraph setting	100 %
Initial speed	17.69 kts
Right Direction	Yes
Ordered rudder	35 deg
Time to heading change 90°	112.6 s
Advance	721.54m, 2.25 LBP
Transfer	312.29m, 0.98 LBP
Time to heading change 180°	222.6 s
Tactical diameter	713.62m, 2.23 LBP
Time to heading change 360°	483.6 s
Steady diameter	627.17m, 1.96 LBP
Final rate of turn	39.95 deg/min
Final speed	7.08 kts
Final u	6.86 kts
Final v	-1.73 kts
Speed loss	59.77 %
Pivot point	0.24 LBP

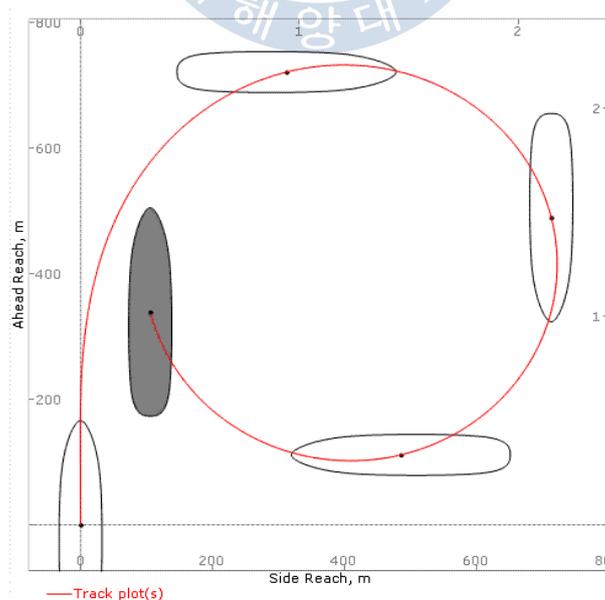


Fig.4.6 Track plot(s) with ship outline when course is 90°, 180° or 270°

(2) Turning Circle 20° STBD

Table 4.13과 Fig. 4.7은 심수역에서 선박의 조종성능을 평가하기 위해 타각 20° 우현으로 선회하였을 때의 결과로써, Advance는 949.9m(2.97 LBP)로 IMO 조종성능기준인 4.5LBP 이하를, Tactical Diameter는 1200.4m(3.75 LBP)로 5.0LBP 이하를 만족하였다. 초기속력은 17.69 kts, Final속력은 10.14 kts로 41.11%의 속력 손실이 있었으며 Pivot point는 0.38 LBP였다.

Table 4.13 Basic parameters

Initial engine telegraph setting	100 %
Initial speed	17.69 kts
Right Direction	Yes
Ordered rudder	20 deg
Time to heading change 90°	146.7 s
Advance	949.9m, 2.97 LBP
Transfer	507.09m, 1.58 LBP
Time to heading change 180°	300.6 s
Tactical diameter	1200.4m, 3.75 LBP
Time to heading change 360°	650.6 s
Steady diameter	1210.03m, 3.78 LBP
Final rate of turn	30.31 deg/min
Final speed	10.36 kts
Final u	10.15 kts
Final v	-2.07 kts
Speed loss	41.11 %
Pivot point	0.38 LBP

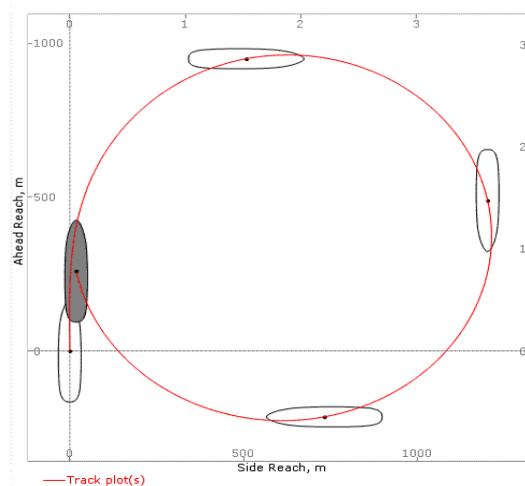


Fig. 4.7 Track plot(s) with ship outline when course is 90°,180°,270°

(3) Accelerating turn, 20° STBD

Table 4.14와 Fig. 4.8은 심수역에서 타각 20°에서의 우현으로 회두가속력을 하였을 때의 결과로써, Advance는 666.23m(2.08 LBP)로 IMO 조종성능기준인 4.5 LBP 이하를, Tactical Diameter는 1,240.1m(3.88 LBP)로 5.0 LBP이하를 만족하였다. 초기속력은 0 kts, Final속력은 8.16 kts였으며 Pivot point는 0.38 LBP였다.

Table 4.14 Basic parameters

Initial engine telegraph setting	0 %
Initial speed	0 kts
Right Direction	Yes
Ordered engine	50 %ET
Ordered rudder	20 deg
Time to heading change90	387.6 s
Advance	666.23m, 2.08 LBP
Transfer	519.59m, 1.62 LBP
Time to heading change 180	623.6 s
Tactical diameter	1,240.1m, 3.88 LBP
Time to heading change 360	1077.5 s
Steady diameter	1,210.61m, 3.78 LBP
Final rate of turn	23.86 deg/min
Final speed	8.16 kts
Final u	7.99 kts
Final v	-1.63 kts
Pivot point	0.38 LBP

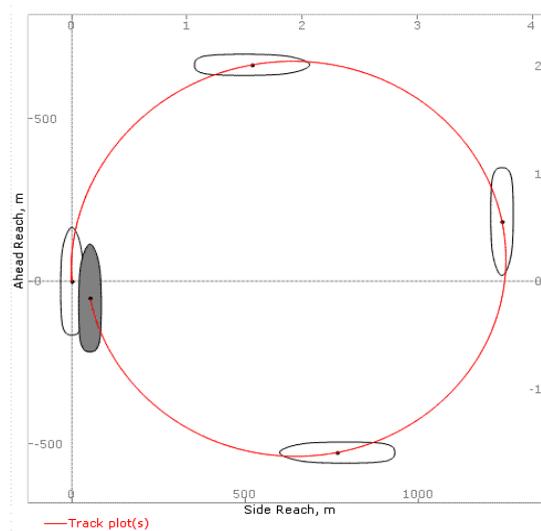


Fig 4.8 Track plot(s) with ship outline when course is 90°,180° 270°

(4) Zig-zag 10/10 Deg.

Table 4.15와 Fig. 4.9는 심수역에서 타각 10°에서의 Zig-Zag Test한 결과로써, 1st overshoot angle은 7.92deg.로 IMO 조종성능기준인 20deg. 이하를, 2nd overshoot angle은 14.09deg.로 기준 40deg. 이하를 만족하였다.

Table 4.15 Basic parameters

Initial engine order	100 %
Initial speed	17.69 kts
Right Direction	1
Heading deviation	10 deg
Ordered rudder	10 deg
1st overshoot	7.92 deg
1st overshoot time	176.3 s
2nd overshoot	14.09 deg
2nd overshoot time	349.5 s
3rd overshoot	12.3 deg
3rd overshoot time	512.1 s
Period	341 s
Final speed	15.43 kts
Final time	1,023 s

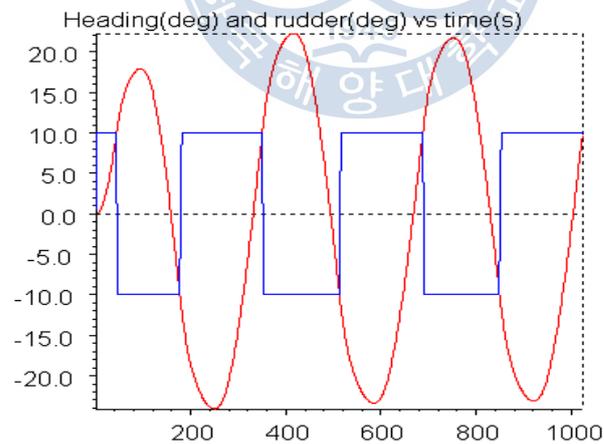


Fig. 4.9 Zig-zag trial 10/10 Deg. result

(5) Zig-zag 20/20 Deg.

Table 4.16과 Fig. 4.10은 심수역에서 타각 20°에서의 Zig-Zag Test한 결과로써, 1st overshoot angle은 11.49deg.로 IMO 조종성능기준인 20deg. 이하를, 2nd overshoot angle은 11.49deg.로 기준 40deg. 이하를 만족하였다.

overshoot angle은 13.31deg.로 기준 40deg. 이하를 만족하였다.

Table 4.16 Basic parameters

Initial engine order	100 %
Initial speed	17.69 kts
Right Direction	1
Heading deviation	20 deg
Ordered rudder	20 deg
1st overshoot	11.49 deg
1st overshoot time	187.8 s
2nd overshoot	13.31 deg
2nd overshoot time	353.6 s
3rd overshoot	10.44 deg
3rd overshoot time	510 s
Period	332.17 s
Final speed	12.11 kts
Final time	996.5 s

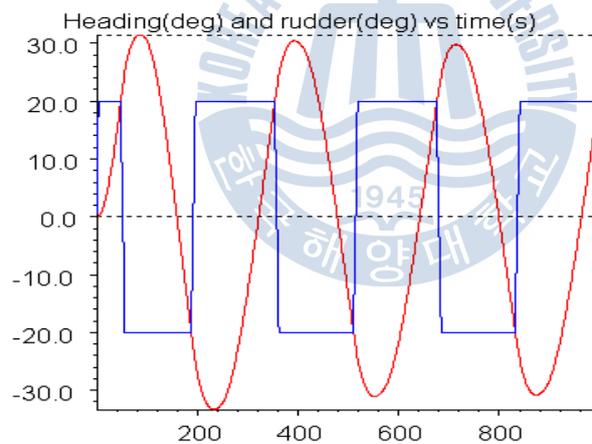


Fig. 4.10 Zig-zag trial 20/20 Deg. result

(6) Initial Turn ability

Table 4.17에서 보는 것과 같이 최초 선회능력을 테스트한 결과, Head reach가 401.25m(1.25 LBP)로 IMO 조종성능기준에 만족하였다.

Table 4.17 Basic parameters

Initial engine order	100 %
Initial speed	17.59 kts
Ordered rudder	10 deg
Final course	10 deg
Full path	401.56m, 1.25 LBP
Head reach	401.25m, 1.25 LBP
Side path	10.27m, 0.03 LBP
Full time	44.2 s

(7) Pullout

Table 4.18과 Fig. 4.11에서 보는 것과 같이 테스트 결과, IMO 조종성능기준에 만족하였다.

Table 4.18 Basic parameters

Initial engine order	100 %
Initial speed	17.69 kts
Initial rudder(PORT/STBD)	20°
Ship is stable	No
STBD: final rate of turn	-17.25 deg/min
STBD: time to steady	1,530.7 s
STBD: non dimensional time to steady (time*Vdesign/Lwl)	44.04
PORT: final rate of turn	16.32 deg/min
PORT: time to steady	726.6 s
PORT: non dimensional time to steady (time*Vdesign/Lwl)	20.9

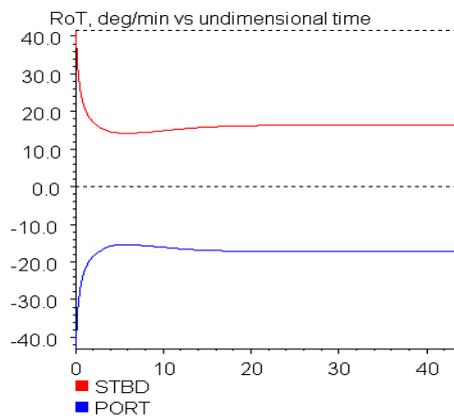


Fig. 4.11 Pullout

(8) Spiral Test

이 시험은 선박의 조종특성 중에 일정타각을 계속 유지하면 최종적으로 어느 정도의 회전각속도를 갖는지를 알기 위하여 여러 타각에 대하여 행하는 시험이다. 거대형 선박의 조종성은 비선형성이 강하여 일정타각에 대한 K 및 T만으로는 특성을 표시할 수 없으므로, 이 시험을 통하여 나온 결과에 의하여 침로안전성을 판별하는 데 유용하게 활용할 수 있다. Table 4.19, Fig. 4.12와 같이 테스트 결과 IMO 조종성능기준에 만족하였다.

Table 4.19 Basic parameters

Initial engine telegraph setting	100 %
Ship is stable	0
Delta Wz when rudder is midship	33.57 deg/min

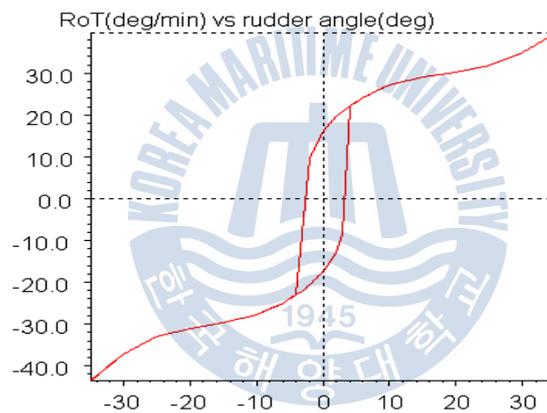


Fig. 4.12 Spiral test result

4.3.3 천수에서의 선박의 조종성능(Controllability in Shallow Water)

이 모델선박의 천수(Shallow water)에서의 조종성은 타각 35° 및 20°에서의 우현의 선회권(Turning Circle)과 타각 20°에서의 우현 회두가속력(Accelerating turn), 타각 10° 및 20°에서의 지그재그(Zig-zag) 테스트, 초기 선회성(Initial Turnability) 그리고 Pullout 및 Spiral 테스트에 대한 자료는 아래와 같으며, 주변 환경조건은 바람, 조류, 파도 및 얼음조건 등은 모두 무시하였다. 다만 수심과 흘수의 비는 수심 11.25m에서 수심/흘수(H/T)은 1.5로 하였다.

(1) Turning Circle 35 deg STBD

Table 4.20, Fig. 4.13과 같이 천수역에서 선박의 조종성능을 평가하기 위해 타 각 35° 우현으로 선회하였을 때, Advance는 791.73m(2.47 LBP)로 IMO 조종성능 기준인 4.5 LBP이하를, Tactical Diameter는 886.22m(2.77 LBP)로 5.0 LBP 이하를 만족하였다. 초기속력은 17.54kts, 파이널 속력은 7.19kts로 59.11%의 속도 손실이 있었으며 Pivot point는 0.24 LBP였다.

Table 4.20 Basic parameters

Water depth	11.25 m 1.5 H/T
Initial engine telegraph setting	100 %
Initial speed	17.54 kts
Right Direction	Yes
Ordered rudder	35 deg
Time to heading change 90°	135.7 s
Advance	791.73m, 2.47 LBP
Transfer	404.97m, 1.27 LBP
Time to heading change 180°	276.6 s
Tactical diameter	886.22m, 2.77 LBP
Time to heading change 360°	597.6 s
Steady diameter	770.03m, 2.41 LBP
Final rate of turn	33.07 deg/min
Final speed	7.19 kts
Final u	7.05 kts
Final v	-1.4 kts
Speed loss	59.11 %
Pivot point	0.24 LBP

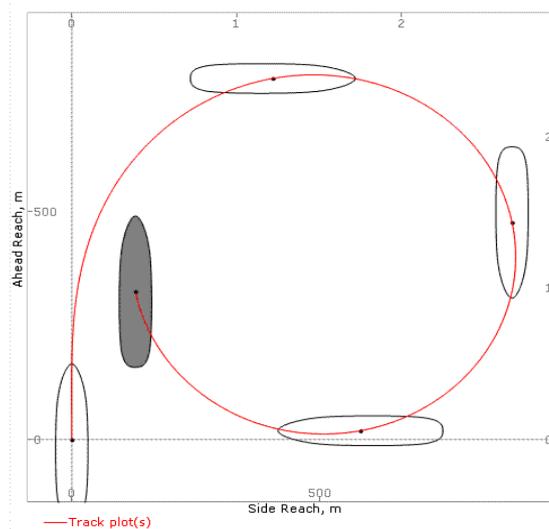


Fig. 4.13 Track plot(s) with ship outline when course is 90, 180 or 270

(2) Turning Circle 20 Deg STBD

Table 4.21, Fig. 4.14와 같이 천수역에서 타각 20° 우현으로 선회하였을 때, Advance는 1022.46m (3.2 LBP)로 IMO 조종성능기준인 4.5 LBP이하를, Tactical Diameter는 1,374.55m(4.3 LBP)로 5.0 LBP 이하를 만족하였다. 초기속력은 17.54 kts, Final속력은 10.37 kts로 41.04%의 속력 손실이 있었으며 Pivot point는 0.31 LBP였다.

Table 4.21 Basic parameters

Initial engine telegraph setting	100 %
Initial speed	17.54 kts
Right Direction	Yes
Ordered rudder	20 deg
Time to heading change 90°	169.8 s
Advance	1022.46m, 3.2 L
Transfer	616.54m, 1.93 L
Time to heading change 180°	347.6 s
Tactical diameter	1374.55m, 4.3 L
Time to heading change 360°	740.6 s
Steady diameter	1353.32m, 4.23 L
Final rate of turn	27.13 deg/min
Final speed	10.37 kts
Final u	10.27 kts
Final v	-1.49 kts
Speed loss	41.04%
Pivot point	0.31 L

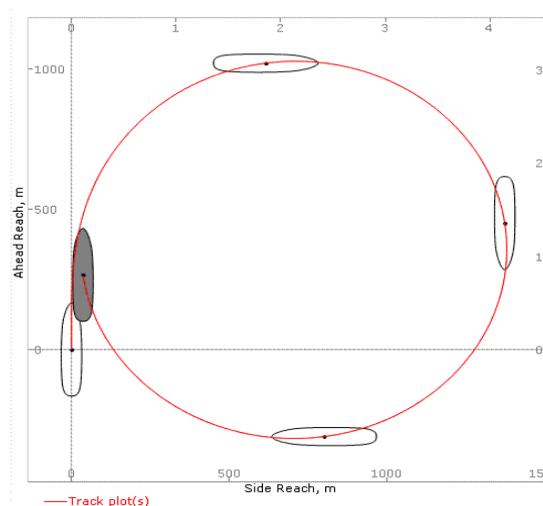


Fig. 4.14 Track plot(s) with ship outline (course:90, 180, 270)

(3) Accelerating turn, 20 deg STBD

Table 4.22와 Fig. 4.15는 천수역에서 타각 20°에서의 우현으로 회두 가속력을 하였을 때의 결과로써, Advance는 716.63m(2.24 LBP)로 IMO 조종성능기준인 4.5 LBP이하를, Tactical Diameter는 1,363.64m(4.26 LBP)로 5.0LBP 이하를 만족하였다. 초기속력은 0 kts, Final속력은 8.16 kts였으며 Pivot point는 0.31 LBP였다.

Table 4.22 Basic parameters

Initial engine telegraph setting	0 %
Initial speed	0 kts
Right Direction	Yes
Ordered engine	50 %ET
Ordered rudder	20 deg
Time to heading change 90	424.6 s
Advance	716.63m, 2.24 LBP
Transfer	598.18m, 1.87 LBP
Time to heading change 180	687.6 s
Tactical diameter	1363.64m, 4.26 LBP
Time to heading change 360	1,195.2 s
Steady diameter	1,353.46m 4.23 LBP
Final rate of turn	21.36 deg/min
Final speed	8.16 kts
Final u	8.08 kts
Final v	-1.17 kts
Pivot point	0.31 LBP

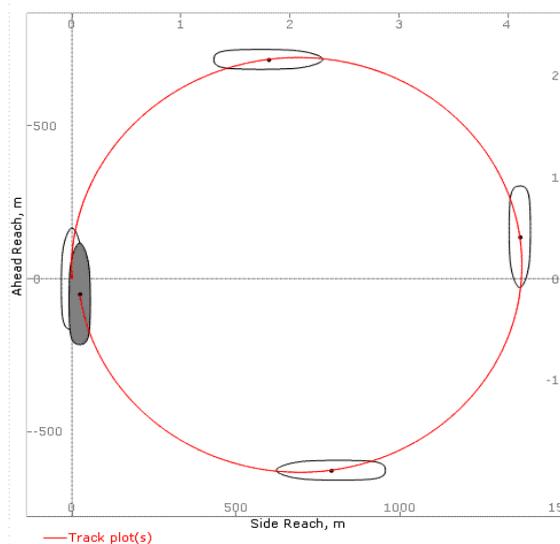


Fig 4.15 Track plot(s) with ship outline when course is 90°, 180° or 270°

(4) Zigzag 10/10

Table 4.23과 Fig. 4.16은 천수역에서 타각 10°에서의 Zig-Zag test한 결과로써, 1st overshoot angle은 5.75deg.로 IMO 조종성능기준인 20deg.이하를, 2nd overshoot angle은 10.27deg.로 기준 40deg.이하를 만족하였다.

Table 4.23 Basic parameters

Initial engine order	100 %
Initial speed	17.54 kts
Right Direction	1
Heading deviation	10 deg
Ordered rudder	10 deg
1st overshoot	5.75 deg
1st overshoot time	178.1 s
2st overshoot	10.27 deg
2st overshoot time	348.1 s
3st overshoot	9.57 deg
3st overshoot time	512.8 s
Period	344.5 s
Final speed	14.78 nots
Final time	1,033.5 s

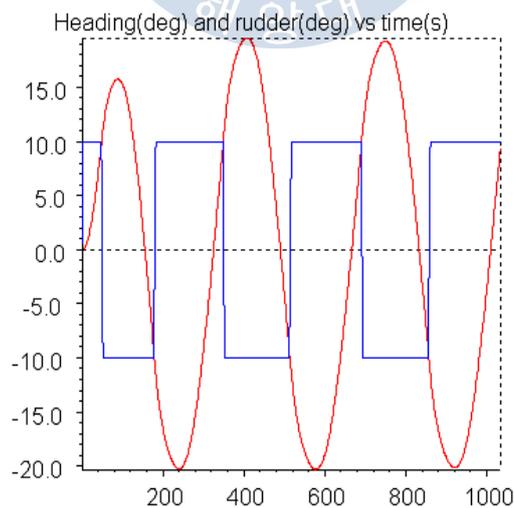


Fig. 4.16 Zig-Zag 10/10 result

(5) Zigzag 20/20

Table 4.24와 Fig. 4.17은 천수역에서 타각 20°에서의 Zig-Zag test한 결과로써, 1st overshoot angle은 9.42deg.로 IMO 조종성능기준인 20deg.이하를, 2nd overshoot angle은 11.06deg.로 기준 40deg.이하를 만족하였다.

Table 4.24 Basic parameters

Initial engine order	100 %
Initial speed	17.54 kts
Right Direction	1
Heading deviation	20 deg
Ordered rudder	20 deg
1st overshoot	9.42 deg
1st overshoot time	200.6 s
2st overshoot	11.06 deg
2st overshoot time	377.2 s
3st overshoot	9.17 deg
3st overshoot time	547.7 s
Period	359.7 s
Final speed	11.72 nots
Final time	1,079.1 s

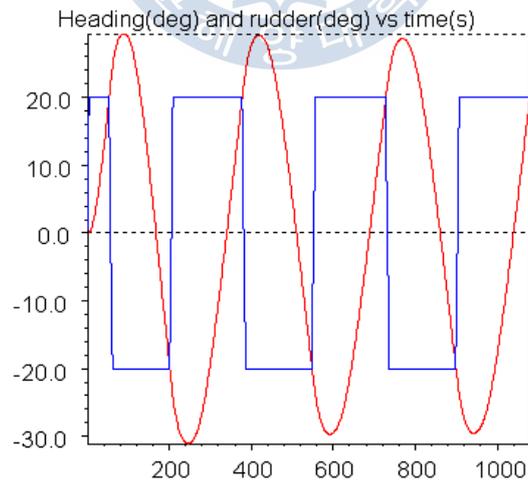


Fig. 4.17 Zig-Zag 20/20 result

(6) Spiral Test

이 시험은 선박의 조종특성 중에 일정타각을 계속 유지하면 최종적으로 어느 정도의 회전각속도를 갖는지를 알기 위하여 여러 타각에 대하여 행하는 시험이다. Table 4.25와 Fig. 4.18과 같이 테스트 결과, IMO 조종성능기준에 만족하였다.

Table 4.25 Basic parameters

Initial engine telegraph setting	100 %
Ship is stable	0
Delta Wz when rudder is midship	23.02 deg/min

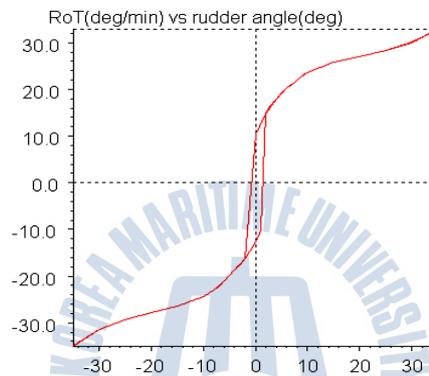


Fig. 4.18 Spiral

4.3.4 실제선박과 모델선박의 조종성능 비교 평가

선회권 시험결과, 실제선박의 Advance는 2.7LBP, 모델선박의 Advance는 2.25LBP로 두 선박 모두 IMO 조종성능 기준인 4.5LBP 미만을 만족하였다. 또한 모델선박의 조종성능이 실제선박보다 더 우수하게 나왔으며, 모델선박의 Advance가 실제선박보다 약 17% 정도 짧게 나타났음을 알 수 있었다.

Zig-Zag Trial Result(10-10)에서는 실제선박과 모델선박의 1st overshoot angle 과 2nd overshoot angle은 모두 IMO 조종성능 기준을 만족하였지만, 실제선박과 모델선박 간의 차이값이 1st보다는 2nd overshoot에서 더 크게 차이가 났으며, 이는 오차가 점점 커진다는 의미로 시뮬레이션용의 모델선이 실선의 값을 정확히 반영하지 못한 것으로 판단된다.

Zig-Zag Trial Result(20-20)에서도 1st overshoot angle이 실제선박보다 모델선박의 값이 더 작게 나타났으며, 이는 모델선박이 더 빠르게 조타의 추종이 가능

하고 보다 짧은 시간에 방향전환이 가능하다는 것을 나타낸다.

최단정지거리 시험결과에서는 실제선박의 Short Stopping Distance는 13.5LBP, 모델선박의 Stopping Distance는 11.26LBP로 두 선박 모두가 IMO의 기준인 15L을 만족하였고, 실제선박의 측정값이 더 크게 나온 것을 보아 시뮬레이션의 모델선박의 정지성능이 우수하게 제작되었음을 알 수 있다.

모델선박의 조종성능 시험은 주변환경의 바람, 조류, 파도의 조건 등을 무시하여 진행했으므로 거의 모든 조종성능 시험 결과에서 실제선박에 비해 우수한 조종성능을 나타낸 것으로 판단된다.



제 5 장 VLCC의 인천항 통항 시뮬레이션 평가

5.1 선박조종 시뮬레이션 소개

5.1.1 선박조종 시뮬레이터 (FMSS : Full Mission Ship handling Simulator)

가상의 공간에서 선박을 모의조종하는 장비이다. 선박조종시뮬레이터는 선원의 조타능력 향상을 위한 교육과 훈련을 위하여 사용되고 있으며, 국제해사기구(IMO)에서도 선원들의 여러 가지 상황에 대처하는 훈련 및 연구용으로 이용할 것을 권장하고 있다. 또한 항만개발, 항만설계, 방파제 및 교량건설 등 항로 및 항만 구조물 설계에 대한 타당성과 특정 자연환경에서 대상선박을 이용하여 접이안 안전성 및 통항안전성을 평가하고자 할 경우 주로 활용되고 있다.

5.1.2 시뮬레이션 데이터베이스

선박조종 시뮬레이션을 위한 데이터베이스는 영상 데이터베이스, 레이더 데이터베이스, 수심 데이터베이스 및 조류 데이터베이스의 4가지로 이루어진다. 이들 데이터베이스를 국립해양조사원이 발행한 해도와 조류도, 관련 항만 해도 및 관련 사진 등을 기초로 하여 다음과 같이 구축 하였다.

(1) 영상 데이터베이스

영상 데이터베이스는 모델선박에서 보는 인천~SK 에너지부두 그 인근 해역의 전경, 대상해역의 구조물 및 건물이 표현되도록 하였고 전자해도를 이용하여 해도 상에 표현되는 대부분의 데이터를 시뮬레이터에 표현하였으며, 고도데이터를 이용하여 실제와 거의 유사한 환경을 제작하였다. 이 방법은 영상 표현이 정확하고 조종자에게 많은 데이터를 제공하는 장점을 가지고 있다.

(2) 레이더 데이터베이스

실제 레이더의 영상과 거의 동일하도록 맹목구간과 그늘구간은 물론 구름, 비, 파도 등에 의한 우설반사 및 해면반사도 표현된다.

(3) 수심 데이터베이스

수심은 최신판 해도의 수심을 기초로 하되 준설 해역은 준설 후의 수심을 기준으로 데이터베이스를 구축하였다. 전자해도를 이용하여 실제와 거의 동일한 대상수역의 수심을 표현했고 특정수역에 임의 수심변환도 가능하여 준설에 의한 시뮬레이션도 가능하도록 되어있다.

(4) 조류 데이터베이스

조류 데이터베이스는 인천항만 조류도 등을 기준으로 하여 검토하였다. 물론 특정 상황에 따라 원하는 조류 속도 및 방향은 수정이 가능하도록 프로그램이 되어 있다.

(5) 대상항만 및 선박 모델링

선박조종 시뮬레이터는 모든 조선상의 문제점을 모델링 할 수 있어야 하며, 선박의 고유거동을 수학모델로 근사하고 컴퓨터를 이용하여 계산한다. 시뮬레이션에서 선박 조선 시스템의 개념도는 Fig. 5.1과 같다. 중앙부분은 선박 조선자, 항해에 필요한 영상과 선박으로 구성된 순환루프를 형성하고 있다. 특히 영상은 선박조선에 필요한 현재의 환경을 물리적으로 묘사하게 된다. 또 다른 두 개의 필수적인 성분은 외력과 영상 환경이다. 이 두 성분은 선박의 위치에 따라 결정되며 선박과 조선자에 미치는 모든 외부적인 영향으로 수로의 형태, 시정, 조석, 파랑, 흐름, 바람 등과 지리적인 특성으로 항해보조시설, 건물과 교량과 같은 항로의 환경을 나타낸다. 선박의 거동에 작용하는 물리적인 외력은 대상항만 모델에 포함된다.

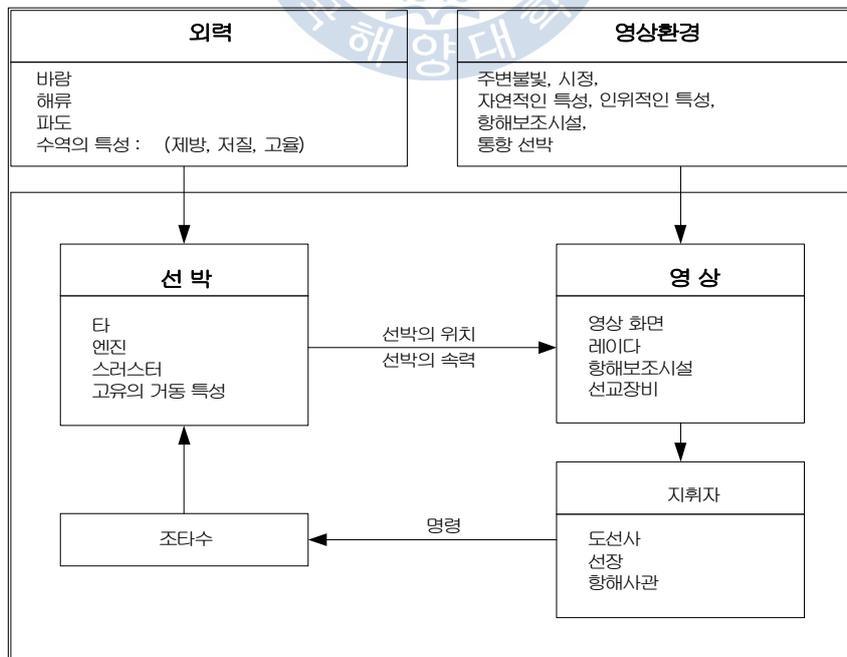


Fig. 5.1 Ship building concept map in the simulation

선박의 조종성에 미치는 이들 요소들의 효과를 증명하여 선박의 기본적인 안정성과 제어특성을 결정하기 위한 조종성 시험이 실시된다. 일반적으로 침로유지 및 침로변경 기능의 효율성을 결정하기 위한 조종성 시험에는 나선형 조종시험(Spiral test), Z시험(Zig-zag test), 선회시험(Turning test)이 이용된다. 선박의 속도변경에 관련한 조종성 시험에는 Acceleration test, Crash stop test, Coasting test가 이용된다. 한편, 선박의 사고로 인한 인명피해와 해양오염을 방지하기 위하여 국제해사기구(IMO)는 일반적으로 Table 5.1과 같은 조종 성능 기준(Maneuverability Standard)을 제정하였으며 선박은 Sea trial에서 이 기준을 준수해야 한다.

Table 5.1 Based on the ship's maneuverability

Item	IMO Standards
Condition	Deep water, Full load test speed, Calm Environment
Turning ability	Ad < 4.5L, DT < 5L
Initial turning ability	$\delta = 10^\circ$, $\omega = 10^\circ$, Track Reach < 2.5L
Yaw checking & Course keeping ability	10°- 10° Zig-zag test $\omega_1 < 10^\circ$ (L/U < 10)
	$\omega_1 < 5 + \frac{1}{2}(L/U)$ (10 < L/U < 30)
	$\omega_1 < 20^\circ$ (L/U ≥ 30)
Stopping ability	20°- 20° Zig-zag test $\omega_1 < 25^\circ$ Track Reach < 15L

여기에서 대상선박의 모델링은 전장 332m의 30만 DWT급 원유선(Half Loading 기준)을 대상으로 하였다. 또한 인천 도선사협회에서 제공한 자료를 토대로 한국해양대학교 FMSS 장비에서 보유하고 있는 가장 유사한 선박을 흘수 13.5m의 Half Loading 상태의 선박 성능을 가질 수 있도록 적용하였다.

5.2 선박조종 시뮬레이션 평가 방법

항만 개발 및 정비과정에서 시뮬레이터를 이용하여 검증하는 주된 목적은 선박운항 안전을 최대로 확보하는 것이다. 항만 및 수역시설 설계에서 선박조종 시뮬레이션은 크게 항로 통항 안전성, 선회장의 적정성, 접·이안 안전성 평가에 주로 이용된다. 선박조종 시뮬레이션 실험의 목표는 첫째, 선박조선과정에서 고정 물표, 항해보조시설, 타 선박과의 충돌여부, 항로경계를 벗어나는지 여부, 선

박의 조종성 유지 여부를 검토하는 것이며, 둘째는 가능한 한 가장 효율적인 항로 운영방안을 도출하는 것이다.

선박조종 시뮬레이션은 출발지점에서 도착지점까지 항해하는 동안 선박의 운항특성을 평가하기 위한 것이다. 선박조종 시뮬레이션 결과를 해석하기 위해 선박조종과정에서 접할 수 있는 모든 위험을 정량적으로 변환하는 정형화된 근거는 아직 마련되지 않았지만 선박조종술, 공학적인 분석과 통계분석기법을 적용하여 발생 가능성이 있는 사고와 그 사고가 초래할 수 있는 비용으로 추정할 수 있다. 선박조종 시뮬레이션 결과로 이러한 계산을 수행하는 것은 상당히 복잡하다. 이것은 선박, 선박 조종자, 항로의 환경, 교통상황 등의 모든 조합의 경우를 전부 고려하기가 곤란하기 때문이다.

일반적으로 선박조종 시뮬레이션의 결과를 평가하는 방법에는 선박의 항적, 선박의 근접도, 선박의 제어도 및 선박조종자의 주관적 평가 등이 있으며, 시뮬레이션 수행목적에 따라 평가방법을 선정할 필요가 있다. 본 연구에서는 선박의 항적, 취락지역에 대한 선박의 근접도, 조종자의 주관적 평가 등의 항목을 이용하여 평가한다. 이를 위해 선박조종 시뮬레이션 실험이 수행되는 전 과정의 선박 항적도를 출력하고, 다음 목록에 제시된 모든 자료를 10초단위로 추출하여 각 평가방법에 활용한다.

(1) 선박의 근접도 및 항로이탈(교각충돌) 확률

선박이 항해하는 도중에 항만시설, 장애물 또는 항해보조시설에 어느 정도 접근했는가를 분석한다. 근접도에 따른 평가는 구조물의 존재에 의해 선박의 거동에 간섭을 미치는 물리적인 이격거리와 위험물의 존재에 의해 선박조종자가 심리적으로 위험을 느끼기 시작하는 심리적인 이격거리를 고려하여 이루어진다.

선박의 근접도 평가는 근접하였을 때 위험이 예상되는 기준점 또는 기준선을 설정하고 선박의 운항과정에서 근접거리를 측정한다. 여기에서는 대상선박이 통항하는 인근해역의 항해보조시설, 교각, 육지 등과의 근접도를 평가하고, 특히 항로의 통항안전성에서는 인천대교 주경간장 가항항로 경계선과의 항로이탈확률 및 교각과의 충돌확률을 평가하며 방법은 다음과 같다.

선박조종 시 부두, 해상교량과의 교각 및 항로 등에 기준선을 설정하고 그 기준선을 통과하는 대상선박의 분포를 선박조종 시뮬레이션 수행 결과를 통해 평균값과 표준편차를 분석한다. 기준선을 통과하는 선박의 위치 분포를 정규분포라 가정하고 아래 Fig. 5.2 의 교각충돌 및 항로 이탈 영역에 대한 정규분포함수의 누적확률분포를 구한다.

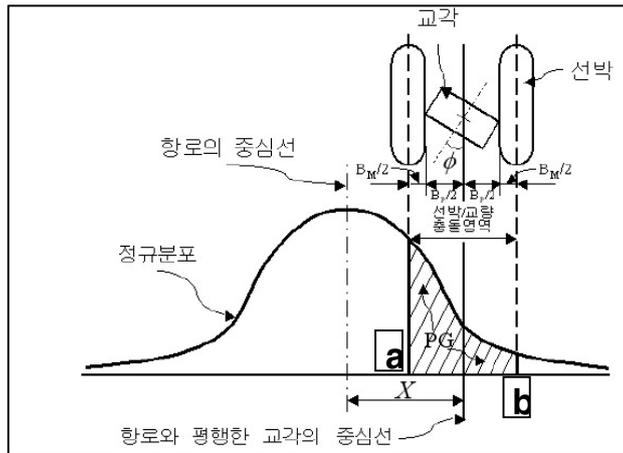


Fig. 5.2 The geometric probability of collision pier

여기서, 평균을 나타내는 m 은 정규분포의 평균위치로서 선박조종 시뮬레이션에 의한 선박통과 경로의 평균(중심선)을 의미하며, σ 는 표준편차를 의미한다. 기하학적 확률분포 P 는 Fig. 5.2에 나타난 바와 같이 교각의 양 측면에 놓인 두 선박의 중심선 사이의 범위에서 정규분포곡선을 적분한 면적이다.

따라서 선박이 교각에 충돌하거나 항로를 이탈할 확률 P 를 아래 식으로 구할 수 있다.

$$P = \int_a^b \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx$$

(2) 선박 제어도

선박의 제어도는 특정 수역에서 대상선박의 조종성능, 항만 및 수역배치와 외력조건에 따른 선박 제어의 난이도를 나타낸다. 평가는 선박조종 시뮬레이션 실험을 수행하고 선박의 거동특성을 나타내는 동적 데이터를 추출하여 통계적 기법으로 분석하며 선박의 여유제어량, 조타기 사용, 표류량, 추진기 효율성 및 선박의 동적특성을 나타내는 지수들을 산출하여 정량적으로 분석한다. 또한 선박이 항해 중 사용한 주기와 조타기의 사용실적을 항해거리에 대해 분석하여 선박의 주 제어수단인 주기와 조타기의 작업부하가 어떤 조선평정에서 어느 정도 이용되었는지 분석한다. 다만 이 연구에서는 동수도 통항을 위주로 이루어지기 때문에 선박제어도 요소는 별다른 의미가 없으므로 적용하지 않는 것으로 한다.

(3) 선박조종자의 주관적 평가

선박조종 시뮬레이터는 대상 해역과 대상선박을 물리적인 아닌 수학적으로 모델링하여 해석적 방법으로는 너무 복잡하여 표현이 불가능하거나 실제로 수행하

기에는 위험도가 너무 높아 실현 불가능한 상황을 재현하여 실험하는 도구이다. 그러나 시뮬레이터의 한계상 모든 요소를 전부 다룰 수는 없다.

선박조종자는 선박조종이라는 큰 시스템의 일부로서 선박의 고유 조종특성, 외력, 타 선박의 영향 등과 같은 인자 이외에 물리적 또는 수학적으로 모델링이 불가능한 상호 인과관계를 가지는 많은 복잡한 정보들을 인식하고 종합적으로 평가하여 여러 가지 방안 중에서 당시 상황에 가장 적절하다고 판단되는 제어방법을 선택하여 선박을 조종하게 된다.

그러므로 선박조종 시뮬레이션 결과 평가는 위험물과의 근접도, 선박의 제어도 등과 같은 정량화된 결과를 도출하는 평가기법 이외에 이들 평가기법에서는 다루지 못한 많은 요소들을 인지하고 조종하는 선박조종자의 주관적 평가도 필수적으로 수행되어야 한다.

안전진단항목별 기술기준에는 선박 운항자의 주관적 평가 기준으로서 아래의 표와 같이 선박 운항자가 해상교량으로 인해 심리적으로 느끼는 부담 또는 위험도를 7단계로 분류하여 의견 수렴 후 결과를 제시토록 하고 있으며 운항자 주관적 평가가 평균 -2.0 이하인 경우 해상교통환경 변화에 따른 통항안전성 및 접이안 안전성 확보가 가능하다고 판별한다.

Table 5.2 Ship operation's subjective ratings

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
상당한 위험이 존재함	위험	약간 위험	안전하지도 위험하지도 않음	약간 안전	안전	확실한 안전이 보장됨

5.3 선박조종 시뮬레이션 수행

인천항은 국내외의 유명한 항만가운데서도 조류가 강하고 항로의 굴곡이 심하고 길이가 긴 지리적 특성을 갖고 있을 뿐만 아니라 수도권에 인접한 항만이어서 선박 통항량이 많은 특성을 갖고 있는 우리나라에서 제2의 항만이다. 이러한 항만특성을 감안하여 SK에너지(인천CLX) 제 3부두 접안능력 증강사업에 따라 대상부두를 이용하게 될 VLCC의 인천항 진입항로(동수도)에서의 인천항도선사들의 항로친숙화 및 통항안전성 향상을 위한 선박조종 시뮬레이션 특별연수를 실시하였다. 이 친숙화 교육과정을 통하여 축적된 시뮬레이션 항적자료를 분석하여 선박운항 안전성을 다음과 같이 평가하였다.

5.3.1 시뮬레이션 대상선박 설정 및 모델링

Table 5.3은 시뮬레이션 대상선박의 주요 제원이며, Fig. 5.3은 대상선박 3차원 영상이다.

Table 5.3 Target ship specifications

대상선박	DISP.(TON)	전장(M)	선폭(M)	흘수(M)	최대속력(KTS)
30만 DWT급 VLCC	220,215	332	58	13.5	16.5
ENGINE 마력(HP)		23,493			



Fig. 5.3 Target shipping 3-D image

5.3.2 시뮬레이션 환경조건 설정

인천항 조류도 및 인천항 도선사 협회에서 요구하는 자연환경을 기준으로, 시뮬레이션 연수 효과의 극대화를 위해서 악조건의 환경을 고려하여 Table 5.4의 환경조건을 설정했다.

Table 5.4 Environment variables of ship maneuvering simulation

분류	환경 설정 변수		
	통항	바람	N(000°), 8.0kts
조류		창조류	1.5 ~ 3.0 kts
		낙조류	2.0 kts
	수심	17.0 m	
접안 / 이안	바람	NW(315°), 20.0kts	
	조류	창조류 / 1.5kts	
	수심	17.0 m	
비상상황	바람	NW(315°), 20.0kts	
	조류	창조류 / 1.5kts	
	수심	17.0 m	

5.3.3 시뮬레이션 시나리오 설정

Table 5.5와 같이 기본적인 선박통항 시나리오는 안도의 도선사승선 지점에서 인천북항 SK에너지부두까지의 동수로 항로의 안전통항에 비중을 두고 설정하도록 하고, 다만 긴급상황은 인천대교 통항 1~2마일 전방에서 엔진 및 조타기 고장을 설정하여 수행하도록 한다.

Table 5.5 Scenario of ship maneuvering simulation

항 목	시나리오	초기 SPEED	TUG (4,600HP)	비고
CASE 1	동수도 통과 ~ SK에너지부두	8.0kts	-	실제 약 36' (3시간소요)
CASE 2	인천대교 ~ 갑문입구	7.3kts	-ESCORT : 1척 -WAITING : 4척	긴급 상황
CASE 3	갑문 ~ 서수도 통과	8.0kts	-	-
CASE 4	갑문 ~ SK부두 접안	6.3kts	4~6척 사용가능	1~2회
CASE 5	SK에너지부두 이안	-	4~6척 사용가능	1~2회

5.3.4 대상수역의 항만 모델링

대상수역은 인천항 장안서에서 인천북항 SK에너지부두까지 약 36마일의 입항 항로 중에 동수도를 중심으로 2차원 및 3차원의 항만모델링을 구축하여 선박조종 시뮬레이션에 활용하였으며, 특별히 취약한 항로로 판단되는 부도등대 부근, 백암등대 부근, 북장자서 부근, 팔미도 부근, 인천대교 부근 그리고 북항 SK에너지돌핀 등 5곳의 해역에 중점을 두었다.

(1) 대상해역 중 부도 부근 모델링

부도 부근해역의 항행여건을 살펴보면, Fig. 5.4와 Fig. 5.5와 같이 가장 좁은 항로폭은 0.5mile(5cable)정도이며, 조류는 해도상에 045°방향으로 약 5.1kts로 표기되어 있으나 대다수 운항자(인천항도선사)들의 의견은 창조시에 045°방향으로 약 3.1kts로 흐르고 부도 통과 후에는 340°방향으로 조향이 바뀌면서 약 3.0kts 크기로 흐르는 것으로 제시하였다.

항로 수심은 Chart Datum(약최저조조면) 기준으로 부도등대 전후로 23~28m 정도이며, 부도등대에서 291°방향으로 1,260m(0.68mile) 떨어진 곳에 수심 18.3m의 Rock이 위치하고 있으며, 부도등대 아래 부분으로 0.55mile 떨어진 위치에 암

반이 있어서 고립장애 등부표가 설치되어 있고, 부도등대 위쪽 우측항로 가장자리에 No. 2 등부표가 설치되어 있다. 이 지역은 교통안전특정구역으로 항행시 위험요소가 많으므로 주의를 기울여야 한다. 그리고 부도등대를 거의 우현으로 Abeam하는 위치에서 침로 020°에서 049°로 변침하여야 하는 항로의 구조이므로 변침시에는 미리부터 선위를 철저히 확인하여 조타를 하여야 한다.

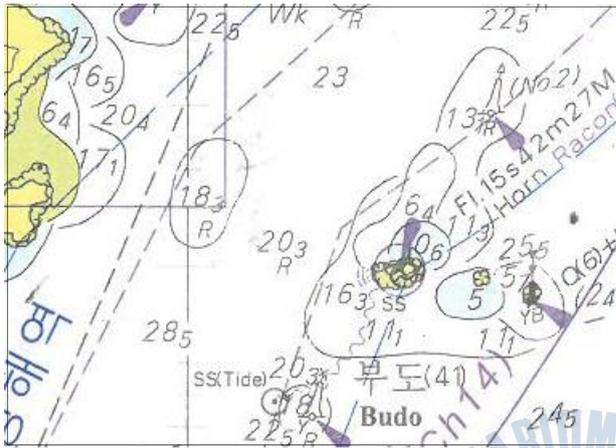


Fig. 5.4 Chart of Budo Lighthouse near

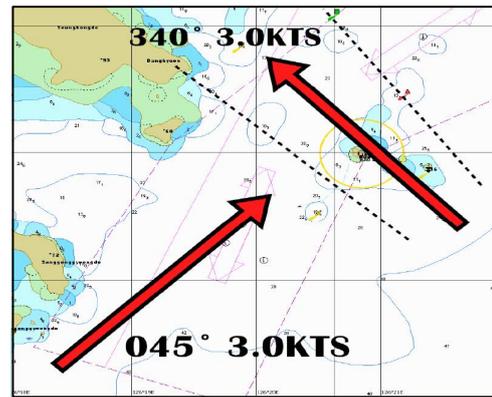


Fig. 5.5 Tide condition of Janganseong ~ Budo Lighthouse

(2) 대상해역 중 백암등대 부근 모델링

Fig. 5.6과 Fig. 5.7의 백암등대 부근해역의 항행여건을 살펴보면, 가장 좁은 항로폭은 0.5mile(5 cable)정도이며, 해도상에서 창조류는 020°방향으로 3.2kts, 낙조류는 200°방향으로 3.6kts 크기로 표기되어 있으나, 대다수 운항자들의 의견은 창조시에 040°방향으로 약 3.0kts로 흐르고 백암등대 통과 후에는 013°방향으로 조향이 바뀌면서 약 3.0kts로 흐르는 것으로 제시하였다.

항로 수심은 Chart Datum(약최저조조면) 기준으로 15.8~19.5m 정도이며, 백암등대에서 동쪽방향으로 0.4mile 떨어진 지점에 침선이 14.4m 수심에 존재하고 있어서 극히 유의하여 통항하여야 한다. 또한, 우측항로 경계선으로는 저수심대가 산재하고 있어서 수개의 등부표가 설치되어 있으며, 좌현측 항로에 No. 12와 No. 13의 등부표가 설치되어 있다. 대부분의 도선사들은 대형 LNG선박을 입항도선할 때 백암등대를 좌현 정황으로 약 3Cable 정도 떨어진 상태로 통과한다고 하며 인천항 동수로 항로 중에서 이 수역이 가장 위험성이 높은 수역으로 판단되므로 항행시 극히 유의하여 통항하여야 할 것이다.

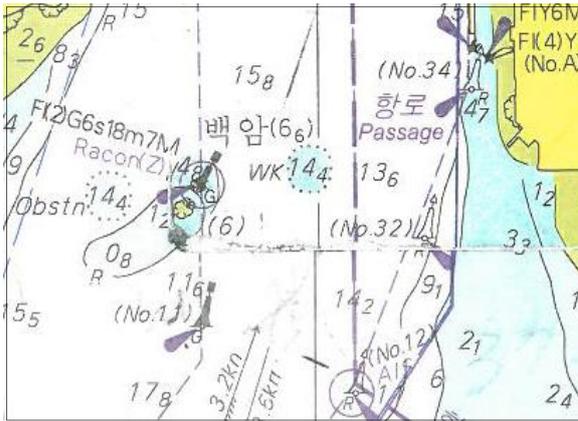


Fig. 5.6 Chart of Baekam Lighthouse near

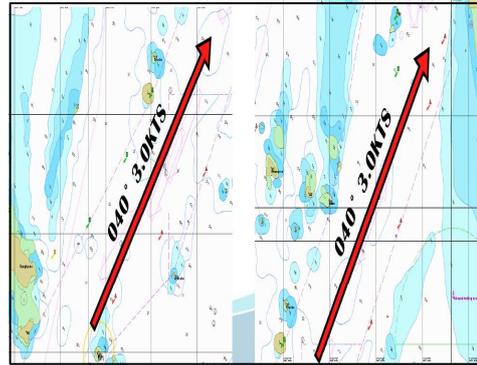


Fig. 5.7 Tide condition of Budo Lighthouse ~ Baekam Lighthouse

(3) 대상해역 중 북장자서 부근 모델링

Fig. 5.8과 Fig. 5.9를 살펴보면, 북장자서 부근 해역은 동수도와 서수도의 교차로이고 또한 북장자서 동쪽으로는 인천남항 LNG터미널에 입출항하는 LNG선들을 위한 제 3항로가 위치하고 있다. 북장자서 북쪽으로 통항분리대가 설치되어 있고 가장 좁은 항로폭은 0.4mile(4 cable)정도이며, 북장자서 접근할 때 035°에서 076°로 대각도 변침해서 입항해야 하므로 어려움이 많다. 해도 상에 창조류는 070°방향으로 약 2.9kts, 낙조류는 250°방향 3.1kts로 표기되어 있으나, 대다수 운항자들의 의견은 창조시에 072°방향으로 약 3.0kts 크기로 흐르고 팔미도 통과 후에는 028°방향으로 약 2.0kts 크기로 흐르는 것으로 제시하였다.

북장자서 주변 수심은 Chart Datum(약최저조조면) 기준으로 최저 22m로 안전에는 문제 없는 것으로 판단된다. 그러나 북장자서에서 동쪽방향으로 항로경계선을 따라서 등부표가 설치되어 있으며 이 지역은 주의구역으로 항행시 위험요소가 많아 상당한 주의가 필요하다.

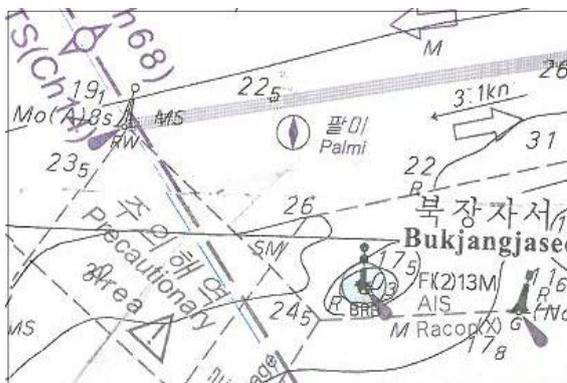


Fig. 5.8 Chart of Bukjangjaseo near



Fig. 5.9 Tide condition of Bukjangjaseo ~ Palmido

(4) 대상해역 중 팔미도 부근 모델링

Fig. 5.10과 Fig. 5.11을 살펴보면, 팔미도 동측으로 통항분리대가 설치되어있고 가장 좁은 항로폭은 약 0.23mile (2.3cable)정도이며 창조류는 071°방향으로 1.8kts, 낙조류는 251도 방향으로 1.8kts 표시 되어 있으나, 대다수 운항자들의 의견이 028°방향으로 약 2.0kts로 흐르는 것으로 제시하였다.

항로 수심은 Chart Datum(약최저조조면) 기준으로 21~24m 정도이고 팔미도 등대에서 동측으로 약 0.3mile (3cable) 떨어진 지점에 32m 수심의 침전이 존재 하는데 위험성은 없는 것으로 판단되며 주변으로는 등부표가 설치되어있다.

또한, 팔미도 남측수역으로는 동수도 항로와 서수도 항로로 대각도 변침이 이루어지는 수역이고, 인천항의 강제도선구역이 시작되는 지점이어서 많은 선박들이 감속 운항하는 곳이므로 이 지역 항행시에는 특별히 유의해야 할 것으로 판단된다.

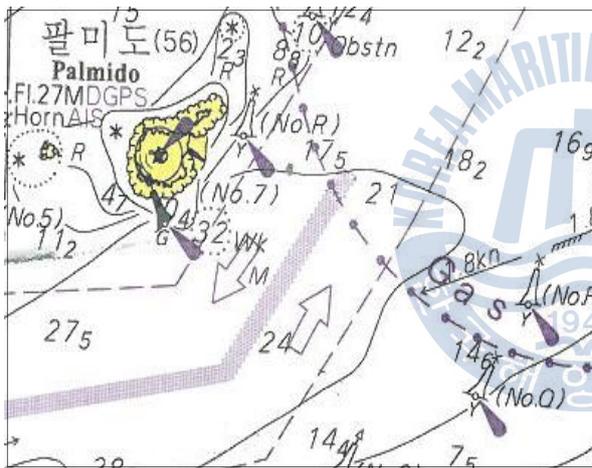


Fig. 5.10 Chart of Palmido near

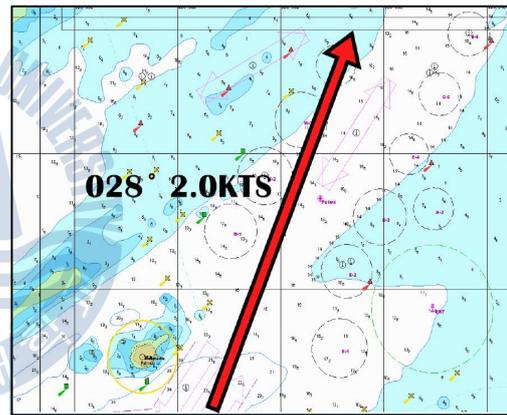


Fig. 5.11 Tide condition after passing Palmido

(5) 대상해역 중 인천대교 부근 모델링

Fig. 5.12를 살펴보면, 인천대교 부근 해역은 인천대교가 인천항의 입출항 항로를 가로질러서 송도국제도시와 영종도 인천국제공항과 연결되어 있어서 선박통항에 전반적인 장애물로 인식되고 있다. 특별히 인천대교 주경간의 교각주변으로 설치되어 있는 충돌방지공을 염두에 두고 운항해야 하며, 또한 여객선 항로와 제1항로가 지나가는 길목이어서 통항 선박간의 충돌위험도 상존하는 곳으로 극히 유의하여야 한다.

주항로부에 있는 사장교의 주경간장은 800m로 사장교 형식으로 되어 있으며, 충돌방지공 등을 감안하면 가항 항로폭은 700m(3.4cable)정도이며, 인천대교에는

교량표지등과 Racon이 잘 설치되어 있어서 통항에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 해도상에 표시된 창조류는 039°방향으로 약 3.7kts, 낙조류는 219°방향으로 3.4kts로 표기되어 있으나, 대다수 운항자들의 의견은 창조시에 040°방향으로 약 2.0kts로 흐르는 것으로 제시하였다.

인천대교 수역의 항로 수심은 Chart Datum(약최저조조면) 기준으로 14.4m 정도이며 여유가 있지 않으므로 항행시 상당한 주의가 필요하다.

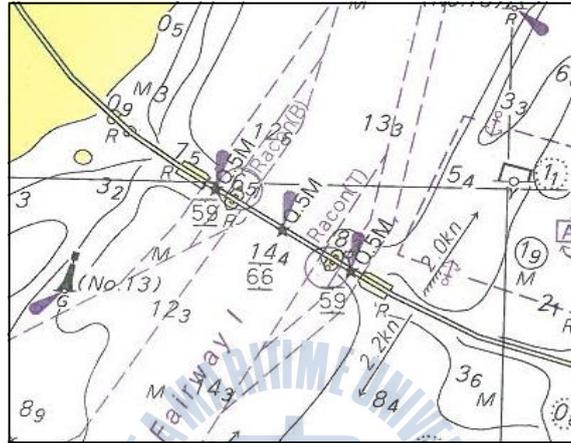


Fig. 5.12 Chart of Incheon Bridge near

(6) 대상해역 중 SK에너지 돌핀 부근 모델링

Fig. 5.13을 살펴보면, SK에너지 돌핀 부근은 주변에 유원지로 유명한 작약도가 가까이 위치하고 있어서 많은 유람선들이 항로를 횡단하여 항행하고 있다. 이 수역의 조류는 해도 상에서 창조류는 030°방향으로 약 3.0kts, 낙조류는 210°방향으로 3.0kts로 표기되어 있으며, 항로 수심은 얇고 폭은 좁아서 접,이안시 상당한 주의가 필요하다.

돌핀 앞쪽으로 설치되어 있는 경인항 접근 항로는 왕복 항로폭이 470m (2.3cable)이며, 돌핀에서 우현항로 가장자리까지 이격거리가 200m로써 통항 선박은 VLCC가 접안해 있을 때 특히 주의를 요해야 한다. VLCC가 출항을 위한 선회시 항로를 점유하게 되므로 입출항 선박은 통제되어야 한다.



Fig. 5.13 Chart of SK energy Dolphin near

5.4 통항 및 들핀접근 안전성 평가 결과

선박조종 시뮬레이션 조건은 Table. 5.6과 같다.

Table 5.6 The condition of ship handling simulation

대상선박	30만 DWT급 VLCC
적재상태	반재상태
선박속력	6.0-10.0kn
바람	NW-27kn, 시계제한(10kn)
조류	인천대교 부근 - 최강창조류, 056도, 2.2kn 대상부두 해역 - 창조류는 018도, 3.4kn
유향과 유속	018°, 0.5kn
파고	1.5m
인천대교 주경간장	800m
주향로 폭	625.5m

5.4.1 부도등대 부근해역 통항 시뮬레이션 평가

부도등대 부근을 입항 통항하는 VLCC의 선박조종 시뮬레이션을 수행한 결과를 보면 Table 5.7과 같다. 즉, 총 40명의 운항자(인천항 도선사)중 이 시뮬레이션을 수행한 34명의 운항자(인천항 도선사)가 VLCC를 조선하여 대상해역을 통과한 결과자료를 분석하면, 가장 좁은 가항수역에서의 좌현측 가장자리의 근접도는 최대 이격거리 1,120m(3.37L, 19.3B), 최소 이격거리 432m(1.30L, 7.45B)이고, 평균 이격거리는 803.88m(2.42L, 13.86B)였다. 또한 통과시의 속력은 최대속력 14.7kts, 최소속력 7.3kts이고, 평균속력은 12.68kts였다.

전체적으로 위험수역에 대한 근접도와 통과속력을 평가해 보면, 개인 편차가

아주 심하게 나타남을 알 수 있고, 우리나라의 항만설계기준에서 규정하고 있는 편도항해의 허용 항로폭 1.5L에 못미치는 이격거리를 유지한 경우가 34명 중에 4명(11.76%)이 있었으나, 통과속력을 12kts 이상으로 유지함으로써 횡방향으로의 선체압류를 최소화할 수 있어서 통항안전성 평가에는 큰 문제는 없는 것으로 판단된다 하겠다. 그리고 해사안전법의 해상교통안전진단에서 규정하고 있는 이격 거리에 대한 충돌확률 측면에서는 안전한계 기준인 10^{-4} 를 충분히 만족하는 1.2×10^{-5} 로서 그 기준을 충족하는 것으로 평가되었다.

Table 5.7 Proximity and passing speed when passing Budo Lighthouse

번호	날짜	부도등대 부근해역	
		근접도(m)	속력(kts)
1	11/7	914	13.9
2	11/8	1,108	10.6
3		* 1,120	11.7
4	11/11	1,010	14.5
5		890	14.2
6	11/12	923	10.1
7		999	14.1
8	11/14	854	13.9
9		** 432	14.0
10	11/15	740	13.8
11		502	12.6
12	11/18	928	* 14.7
13		495	12.0
14	11/19	937	13.2
15		952	13.4
16	11/21	590	11.9
17		1,043	12.8
18	11/26	870	12.3
19		850	13.2
20	11/28	812	12.2
21		704	12.0
22	11/29	685	12.2
23		713	14.2
24	12/2	439	12.3
25		856	** 7.3
26	12/3	1,000	12.5
27	12/5	667	13.0
28		824	11.4

29	12/6	779	12.6
30		976	13.8
31	12/12	825	12.1
32		708	13.2
33	12/13	730	12.4
34		457	12.9
평균치		803.882	12.6765
표준편차		190.23	1.4357
충돌확률		1.2×10^{-5}	

* : 최대값, ** : 최소값

5.4.2 백암등대 부근해역 입항 시뮬레이션 평가

Table 5.8과 같이 백암등대 부근을 입항 통항하는 VLCC의 선박조종 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 총 40명의 운항자(인천항 도선사)중 이 시뮬레이션을 수행한 31명의 운항자(인천항 도선사)가 VLCC를 조선히여 대상해역을 통과한 자료를 결과 분석하면, 가장 좁은 가항수역에서의 좌현측 가장자리의 근접도는 최대 이격거리 938m(2.82L, 16.2B), 최소 이격거리 405m(1.22L, 6.98B)이고, 평균 이격거리는 688.07m(2.07L, 11.86B)였다. 또한 통과시의 속력은 최대속력 16.2kts, 최소속력 7.1kts이고, 평균속력은 13.53kts였다.

전체적으로 위험수역에 대한 근접도와 통과속력을 평가해 보면, 부도등대 부근 입항시와 마찬가지로 개인 편차가 심하게 나타남을 알 수 있고, 우리나라의 항만 설계기준에서 규정하고 있는 편도항해의 허용 항로폭 1.5L에 못미치는 이격거리를 유지한 경우가 31명 중에 3명(9.67%)이 있었으나, 통과속력을 12kts 이상으로 유지함으로써 횡방향으로의 선체압류를 최소화할 수 있어서 통항안전성 평가에는 큰 문제는 없는 것으로 판단된다 하겠다. 또한 해사안전법의 해상교통안전진단에서 규정하고 있는 이격거리에 대한 충돌확률 측면에서는 안전한계 기준인 10^{-4} 를 충분히 만족하는 5.2×10^{-8} 로서 기준을 충족하는 것으로 평가되었다.

Table 5.8 Proximity and passing speed when passing Baekam Lighthouse

번호	날짜	백암등대 부근해역	
		근접도(m)	속력(kts)
1	11/7	446	15.2
3	11/8	606	10.5
4		763	14.9
5	11/11	882	* 16.2
6		817	15.9

7	11/12	736	15.2
8	11/14	* 938	14.1
9		484	12.3
10	11/15	** 405	12.0
11		768	9.7
12	11/18	639	15.1
13		534	12.9
14	11/19	793	14.2
15	11/21	672	12.5
16		653	13.8
17	11/28	805	12.2
18		763	13.2
19	11/29	690	14.3
20		614	13.6
21	12/2	695	11.9
22		733	** 7.1
23	12/3	640	13.5
24	12/5	734	12
25		864	11
26	12/6	777	14.6
27		531	14.8
28	12/12	832	14.5
29		627	15.9
30	12/13	587	15
31		570	16.2
평균치		688.065	13.5387
표준편차		129.367	2.09247
충돌확률		5.2×10^{-8}	

* : 최대값, ** : 최소값

5.4.3 북장자서 부근해역 입항 시뮬레이션 평가

Table 5.9와 같이 북장자서 부근해역을 입항 통항하는 VLCC의 선박조종 시뮬레이션에서는 총 40명의 운항자(인천항 도선사)중 이 시뮬레이션을 수행한 30명의 운항자(인천항 도선사)가 VLCC를 조선했던 결과자료를 분석하면, 가장 좁은 가항수역에서의 좌현측 가장자리의 근접도는 최대 이격거리 1,115m(3.36L, 19.25B), 최소 이격거리 320m(0.96L, 5.52B)이고 평균 이격거리는 678.00m(2.04L, 11.69B)였다. 또한 통과시의 속력은 최대속력 16.5kts, 최소속력 9.5kts이고 평균속력은 12.83kts였다.

위험수역에 대한 근접도와 통과속력을 평가하면, 부도나 백암등대와 마찬가지로 개인편차가 아주 심하게 나타남을 알 수 있고, 항만설계기준에서 규정하고 있

는 편도항해의 허용 항로폭 1.5L에 못 미치는 이격거리를 유지한 경우가 30명 중에 4명(13.33)이 있었으나, 통과속력을 12kts 이상으로 유지함으로써 횡방향으로의 선체압류를 최소화할 수 있어서 통항안전성 평가에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 그리고 해사안전법의 해상교통안전진단에서 규정하고 있는 이격거리에 대한 충돌확률 측면에서는 안전한계 기준인 10^{-4} 를 충분히 만족하는 1.2×10^{-5} 로서 그 기준을 충족하는 것으로 평가되었다.

Table 5.9 Proximity and passing speed when passing Bukjangjaseo

번호	날짜	북장자서 부근해역	
		근접도(m)	속력(kts)
1	11/7	** 320	12.4
2	11/8	837	10.6
3		750	12.9
4	11/11	931	13.5
5		685	16.3
6	11/12	642	10.6
7	11/14	879	15.2
8	11/15	719	14
9		393	12.0
10	11/18	563	13.0
11		735	10.9
12	11/19	* 1115	14.9
13		740	9.9
14	11/21	602	11.4
15		660	13.8
16	11/28	527	14.7
17		651	12.9
18	11/29	746	13.1
19		585	10.6
20	12/2	452	12.0
21		610	** 9.5
22	12/3	797	13.3
23	12/5	403	14.1
24		631	13.3
25	12/6	606	13.8
26		552	15.5
27	12/12	736	14.6
28		805	* 16.5
29	12/13	650	10.6
30		806	12.5
평균치		678	12.8324

표준편차	160.741	2.25439
충돌확률	1.2×10^{-5}	

* : 최대값, ** : 최소값

5.4.4 인천대교 통과 입항 시뮬레이션 평가

Table 5.10과 같이 인천대교 통과 입항 통항하는 VLCC의 선박조종 시뮬레이션 결과를 보면, 총 40명의 운항자중 이 시뮬레이션을 수행한 5명의 운항자(인천항 도선사)가 VLCC를 조선하여 대상해역을 통과한 결과 주 경간장의 교각에 대한 근접도는 최대 이격거리 249m(0.75L, 4.29B), 최소 이격거리 110m(0.33L, 1.90B)이고 평균 이격거리는 206.8m(0.62L, 3.57B)였다. 또한 통과시의 속력은 최대속력 8.6kts, 최소속력 6.5kts이고 평균속력은 7.14kts였다.

위험수역에 대한 근접도와 통과속력을 평가해 보면, 5명의 소수인원으로 평가하기는 힘들지만 개인 편차가 크게 나타났음을 알 수 있고, 대교 통과시 충돌방지공의 설계강도를 감안한 통항안전을 위해서 통과속력을 7kts 이하로 유지함으로써 문제는 없는 것으로 판단된다. 충돌확률 측면에서는 안전한계 기준인 10^{-4} 를 만족하지 못하는 2.1×10^{-4} 이었다. 그러나 이 수역을 통과할 때에는 선미에 Tail tug를 잡고 또한 다른 예선을 인천대교 주변에 배치한 상태로 통과하기 때문에 큰 문제는 되지 않는 것으로 평가되었다.

Table 5.10 Proximity and passing speed when passing Incheon Bridge

번호	날짜	인천대교 부근해역	
		근접도(m)	속력(kts)
1	11/21	* 249	6.7
2		235	7
3	11/22	193	* 8.6
4		** 110	** 6.5
5	12/6	247	6.9
평균치		206.8	7.14
표준 편차		58.6362	0.83845
충돌 확률		2.1×10^{-4}	

*: 최대값, **: 최소값

5.4.5 SK에너지 돌핀부근 입항 시뮬레이션 평가

Table 5.11과 같이 SK에너지 돌핀부근을 입항 통항하는 VLCC의 선박조종 시뮬레이션을 수행한 결과 총 40명의 운항자(인천항 도선사)가 VLCC를 조선하여

대상돌핀에 접안을 위하여 접근조종의 결과자료를 분석하면, 돌핀 끝단에 대한 근접도는 최대 이격거리 430m(1.30L, 7.41), 최소 이격거리 28m(0.08L, 0.48B)이고 평균 이격거리는 305.00m(0.92L, 5.26B)였다. 또한 돌핀접근 시의 속력은 최대속력 3.0kts, 최소속력 0.3kts이고 평균속력은 3.00kts였다.

근접도와 통과속력을 평가해 보면, 운항자의 개인편차가 아주 심하게 나타남을 알 수 있고. 평균이격거리는 5.26B 이상을 유지한 경우가 40명 중에 9명(22.5%)이었으나, 접근속력을 2kts 이하로 유지한 경우는 40명 중에 31명(77.5%)이었다. 돌핀끝단에 대한 충돌확률은 기준값보다 높게 나타나 문제가 있는 것으로 나타났지만, 대상선박의 화물적재량이 반재상태이고 또한 4척이상의 예선을 활용하기 때문에 안전성에는 큰 문제가 없는 것으로 평가되었다.

Table 5.11 Proximity and passing speed when passing SK Dolphin

번호	날짜	SK부두 끝단 기준	
		근접도(m)	속력 (kts)
1	11/7	410	2.7
2		93	**0.3
3	11/18	180	1.6
4		162	1.1
		109	1.2
5	11/11	170	1.0
		167	1.5
6		485	1.0
		87	1.0
7	11/12	237	1.4
8		109	2.5
9	11/14	71	0.5
10		**28	1.4
		218	1.3
11	11/15	246	1.6
12		315	1.3
13	11/18	*430	0.8
14		270	1.6
15	11/19	240	2.0
16		125	1.8
17	11/21	250	1.7
18		126	1.3
		290	3.0
19	11/22	105	1.6
20		222	2.6

21	11/25	123	1.1
22		290	2.9
23	11/26	235	0.7
24		155	0.3
25	11/28	235	0.7
26		175	1.6
27	11/29	104	1.4
28		296	2.2
29	12/2	295	0.5
30		240	0.9
31	12/3	205	1.6
32		254	1.3
33	12/5	362	1.5
34		382	2.1
35	12/6	48	1.6
		400	1.7
36		292	2.0
37	12/12	430	1.7
38		345	*3.0
39	12/13	83	1.6
40		280	1.4
평균치		305	2.0
표준편차		113	0.7
충돌 확률		0	-

5.4.6 VLCC의 인천항 안전입항을 위한 시뮬레이션 종합평가

VLCC의 인천항 입항 통항시 선박조종 시뮬레이션을 수행한 결과, 전체적으로 위험수역에 대한 근접도와 통과속력을 평가해 보면 개인 편차가 아주 심하게 나타남을 알 수 있었다.

부도등대와 백암등대 부근, 북장자서 부근을 통과할 때에는 우리나라의 항만설계기준에서 규정하고 있는 편도항해의 허용 항로폭 1.5L에 못미치는 이격거리를 유지한 경우가 일부 있기는 하였으나, 통과속력을 12kts 이상으로 유지함으로써 통항안전성에는 큰 문제는 없는 것으로 판단되었다. 인천대교를 통과하는 경우에는 대교 통과시 충돌방지공의 설계강도를 감안한 통항안전을 위해서 통과속력을 7kts 이하로 유지하면서 선미에 Tail tug를 잡고 다른 예선을 인천대교 주변에 배치한 상태로 통과하기 때문에 큰 문제는 되지 않는 것으로 평가되었으며, SK 에너지 돌핀끝단을 통과하는 경우에도 평균이격거리 이상을 유지한 경우가 일부 있었으나, 속력을 2kts 이하를 유지하였으며 대상선박의 화물적재량이 반재상태

이며 또한 4척 이상의 예선을 활용하기 때문에 안전성에는 큰 문제는 없는 것으로 평가되었다.

그리고 해사안전법의 해상교통안전진단에서 규정하고 있는 이격거리에 대한 충돌확률 측면에서는 인천대교의 교각과 SK돌핀 끝단에 대한 것을 제외하고는 안전한계 기준인 10^{-4} 를 충분히 만족하는 것으로 평가되었다. 인천대교를 통과하는 경우에는 안전한계 기준인 10^{-4} 를 만족하지 못하는 2.1×10^{-4} 이었으나, 이 수역을 통과할 때에는 선미에 Tail tug를 잡고, 또한 다른 예선을 인천대교 주변에 배치한 상태로 통과하기 때문에 큰 문제는 되지 않는 것으로 평가되었다. 또한, SK에너지 돌핀끝단에 대해서도 대상선박의 화물적재량이 반재상태이고 또한 4척 이상의 예선을 활용하기 때문에 접이안 안전성에는 큰 문제는 없는 것으로 평가되었다. 취약수역 5곳의 안전성 평가요소를 종합하면 Table 5.12와 같다.

Table 5.12 Safety evaluation of 5 weak waters

항 목	부도등대 부근	백암등대 부근	북장자서 부근	인천대교 부근	SK돌핀 부근
최소 항로폭	5 cable	5 cable	4 cable	3.4 cable	2.3 cable
조류 방향	045°	020°	070°	039°	030°
조류 유속	5.1 kts	3.2 kts	2.9 kts	3.7 kts	3.0 kts
최소 이격거리	432m(1.30L)	405m(1.22L)	320m(0.96L)	110m(0.33L)	28m(0.08L)
충돌 확률	1.2×10^{-5}	5.2×10^{-8}	1.2×10^{-5}	2.1×10^{-4}	0
최소 통과속력	7.3 kts	7.1 kts	9.5 kts	6.5 kts	0.3 kts
평균 통과속력	12.68 kts	13.53 kts	12.83 kts	7.14 kts	3.0 kts
평가 결과	안전	안전	안전	유의	안전

5.5 비상상황시의 인천대교 통행 안전성 시뮬레이션 및 평가

5.5.1 비상상황을 대비한 호위선박의 타력제어 및 회두 제어

선박의 안전한 항해를 위하여 항로는 가급적 굴곡 부위가 없어야 하고 전진 방향으로 충분한 규모의 수역이 갖추어져야 한다. 또한 Escort Tug는 위급시에 타력 및 회두력 제어기능을 수행하여 선박의 안전을 확보할 수 있어야 한다.

또한 Escort Tug가 회두제어용으로 이용될 때 선박이 안전하게 항로에 위치하게 하기 위하여 몇 가지 제한적인 요소가 있는데, 그 예로 선박이 엔진 Trouble로 인하여 추진력을 잃고 속력이 줄어들게 되면 그 선박이 접해있는 어떠한 환경적인 상황이 즉시 선박에 영향을 미친다. 그러한 영향이 선박을 위험한 쪽으로 압류하게 할 수 있으며, 그렇기 때문에 이러한 환경이 존재하는 항로, 항구 인접

지역, 항내 등에서 타력제어와 회두제어의 필요성을 갖게 하는 것이다.

전방에 제한된 구역이 존재하거나 위험구역 등이 존재하는 곳에서 항해중 엔진이나 조타기에 고장이 발생하였을 경우 타력 및 회두력의 제어가 필요하게 된다. 이러한 조건에서 선박사고를 피하기 위한 가장 효과적인 방법은 위험물이나 위험지역에 접근하지 않도록 초기에 회두를 제어하고 초기에 충분한 거리를 두고 선박의 타력이 멈추도록 하는 것이다. 이를 효과적으로 이용하기 위하여 탱커와 같은 선박에서는 속력을 낮추어(Head Reach를 짧게) 항해하기도 한다.

엔진이나 조타기에 고장이 발생하면 조종자는 이를 초기에 인지하게 되고 조력선의 도움을 얻기 위해 이 사실을 조력선인 Tug에 통보한다. 이러한 과정에서 이미 선박의 회두력은 발생하게 되며 대형 탱커선과 같은 선박에서 이러한 회두력을 제어하기는 매우 힘들 뿐만 아니라 이를 멈추어 선박을 다시 안전한 항로상에 위치시키기 또한 매우 어렵다. 따라서 대부분의 경우 주위의 상황이 허락되면 특별히 높은 속력으로 호위되는 탱커 같은 경우는 회두하는 방향으로 180° 혹은 360° 선회하여 멈추도록 유도한다. 이럴 때 그 선회의 바깥부분에서 Assist를 하는 예인선은 이에 상응하는 속력을 낼 수 있어야 한다. 선회중 선박의 속력은 급격히 감소하기 때문에 Indirect mode(역방향 예인방식)를 취하면 짧은 시간에 선회력을 효과적으로 제어할 수 있다. 그렇지만 이러한 효과를 지속적으로 얻기 위해서는 Direct mode(정방향 예인방식)로 전환할 수도 있도록 하여야 한다.

어떠한 방식의 Assist가 필요한가는 발생한 사고의 형태, 시기와 장소 등의 상황에 따라 다르지만 발생한 회두력을 충분히 제어할 수 있는 성능의 예인선이어야 한다. 노르웨이의 Hesnes Neptun Group에서 선박의 안전을 위한 회두력 제어에 요구되는 예인력을 선박의 크기와 선형별로 시험하고 그 수행한 결과를 발표하였으며 그 결과는 Table 5.13과 같다.

Table 5.13 The size of ship and tug power according to the ship's type

Type of escorted ship	Required tons steering pull at 10 kts speed
40,000 dwt Bulk Carrier	40
70,000 dwt Bulk Carrier	60
150,000 dwt Tanker	88
300,000 dwt VLCC.	116
30,000 m ³ Gas Carrier	32
60,000 m ³ Gas Carrier	43

많은 탱커들이 10kts 정도의 속력으로 항해하는 항로는 급격히 굴곡되지 않아야 하며, 통상적으로 이러한 항로를 통과하는 많은 선박들이 Half 혹은 Maneuvering Full의 속력으로 Table 5.13 에 나타난 최대 회두력을 기초로 다소의 차이를 가지지만 15도 가량의 조타각을 사용하며, Table 5.13은 선박이 10kts로 항해중 Rudder Failure이 발생했을 때 각 선박의 필요한 회두 제어력을 나타낸 것이다.

또한 더 큰 규모의 회두제어력이 필요할 경우 Rudder가 어느 각도로 돌아간 후 멈추어서 원위치 시키지 못하는 기술적인 실패의 경우이다. 이러한 사고 경우에 대한 대처방법은 그것이 일어난 지역의 상황에 따라 해결방법이 달라지는 경우가 대부분이다.

어떠한 타각에서 Rudder가 멈춘 후 Failure이 발생했을 경우에 필요한 회두 제어력은 추진기의 회전이 멈추었을 때 감소한다. (CPP선에서는 프로펠러 피치를 “0”으로 위치시킴을 말함.) 이런 사실은 Escort Tug가 선박(탱커)을 제어하게 하는 가능성을 증가시킨다. 실험에 의한 탱커의 크기와 타각에 따른 회두력의 크기는 Table 5.14와 같다.

Table 5.14 The size of tanker and the size of turning power per angle

speed	Tanker Size and Rudder Angle											
	100,000 dwt				200,000 dwt				300,000 dwt			
	10°	15°	25°	35°	10°	15°	25°	35°	10°	15°	25°	35°
6 kts	25	30	45	30	30	50	60	50	40	55	80	60
8 kts	35	55	75	60	55	85	115	90	70	100	140	105
10 kts	60	85	120	90	90	130	185	145	110	155	220	165
12 kts	85	120	175	135	130	190	260	205	160	230	320	245

5.5.2 VLCC 비상상황 선박조종 시뮬레이션 조건

입항시 비상상황의 시뮬레이션에서 대상선박은 Half Cargo Cond.의 선박속력 8kts(대수속력 6kts)인 30만 DWT급 VLCC이며 예인선은 선수우현 및 Tail Tug 4,500마력 2척이고 풍향/풍속은 315도, 27kts이며, 유향/유속은 056도, 2.2kts로 파고는 1.5m로 설정하였다. Table 5.15와 같이 시뮬레이션 시나리오는 선박이 좌현 15도 조타 후 30초 전진하다가 인천대교 2마일 전방에서 조타기 고장발생과 인천대교 2마일 및 1마일 전방에서 각각 엔진고장 발생을 전제로 하였다.

Table 5.15 Scenario of ship maneuvering simulation of emergency

항 목	시나리오	초기 SPEED	TUG (4,600HP)	비고
CASE 2-1	인천대교 2마일 전방 엔진고장	7.3kts	선수우현 : 1척 Tail Tug : 1척	긴급 상황
CASE 2-2	인천대교 전방 1마일 이내 엔진고장	7.3kts	예인선 2척	긴급 상황
CASE 2-3	인천대교 2마일 전방 조타기 좌현15도 사용중 조타기고장	7.3kts	Tail Tug : 1척 Escort Tug : 1척	긴급 상황

5.5.3 입항시 VLCC 비상상황 선박조종 시뮬레이션 평가 결과

비상상황시의 시뮬레이션 평가는 인천대교 2마일 전방 및 1마일 전방에서 엔진 고장 및 조타기 고장 시에 선박운항자가 운용한 선박의 항적도를 기준으로 분석하였다. Fig. 5.14, Fig. 5.15와 같이 이 분석에서 운항자의 개인특성에 따라서 인천대교를 통과한 후에 적절한 위치에서 앵커링을 하거나, 예선을 활용하여 통과 전에 적절한 수역에서 앵커링을 수행함으로써 인천대교 통항에는 별다른 문제가 없는 것으로 판단되었다.

인천대교 2마일 전방에서 엔진고장이 발생되었을 경우에는 가급적 본선 앵커 및 Tail Tug를 이용하여 인천대교 통과 전에 전진타력 및 회두력을 제어하여 선박을 정지시키는 것이 유리하였다. 선박의 전진타력의 제어는 당시의 선박상황 및 기상상황 등 주위환경에 따라 다르지만, 시뮬레이션 조건에서는 약 1마일 정도가 요구되므로 인천대교 전방 1마일 이내에서 비상상황이 발생하였을 경우에는 본선 타력 및 예인력을 이용하여 대교를 통과하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

인천대교 1마일 전방에서 선박의 엔진이 고장이 난 비상상황을 대비한 선박조종 시뮬레이션 결과, 본선 타력과 4,500마력 예인선 2척으로 인천대교 통과 선속을 4kts로 유지하면서 인천대교의 중앙을 안전하게 통과(가항항로 끝단까지의 이격거리는 약 250m)하여 인근 비상 투묘지까지 안전하게 이동이 가능하다는 평가 결과를 얻었다.

인천대교 약 2마일 전방에서 조타기 좌현 15도 사용 중에 조타기의 고장이 발생하였을 경우 Tail Tug를 사용하여 전진타력을 제어하면서, 가능한 한 빠른 시간에 본선의 후진 엔진을 사용한 결과 선박의 전진타력은 약 1마일 전진한 후에 제어 가능하였다. 또한, 선수 우현에 배치된 Escort Tug를 이용하여 선체 우회두

를 유도한 결과, 선박은 기존 침로에서 좌편향하는 양이 그다지 많지 않았으며, 선속이 약 4~5kts로 감속된 이후에는 선체 회두제어가 용이하였다. 따라서 상기의 거리 정도에서 조타기 고장만 발생하였을 경우에는 대교 통과 전에 본선을 제어하는 것이 바람직하다.

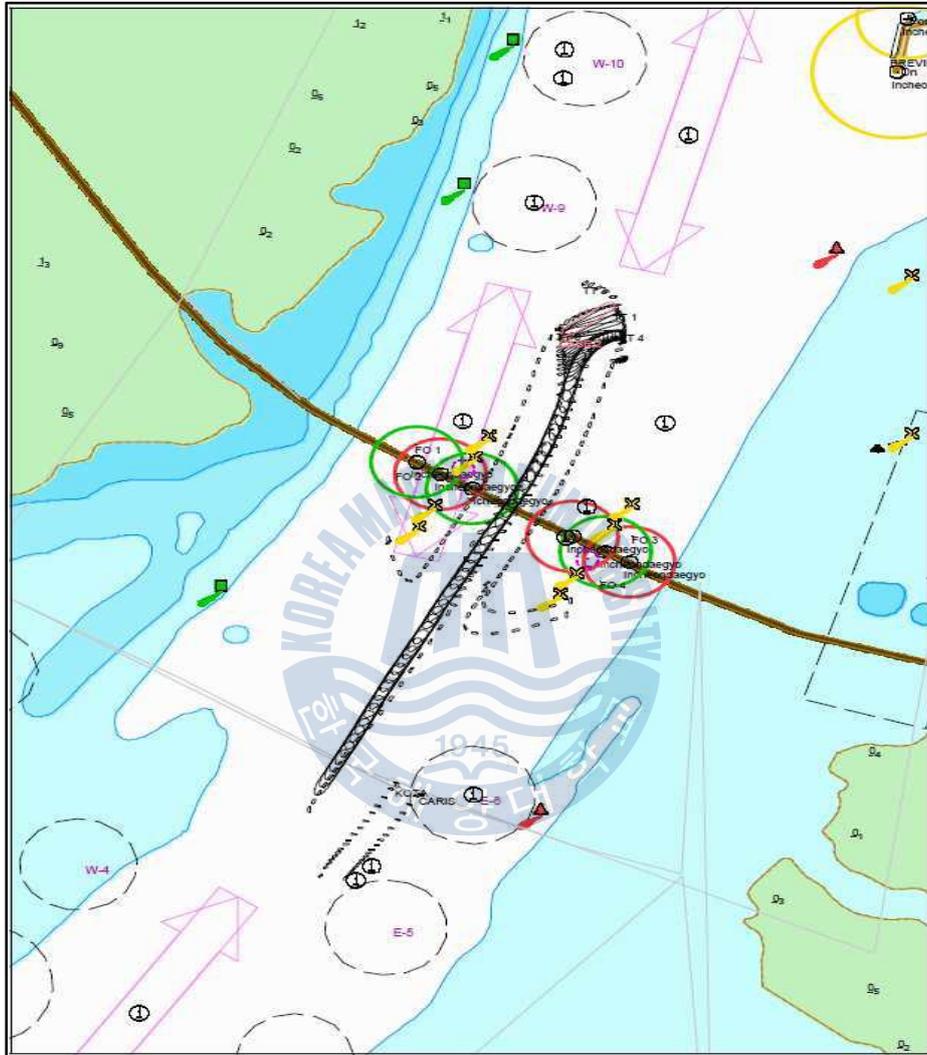


Fig. 5.14 CASE 2-1 FAIRWAY of Incheon bridge~Floodgate



Fig. 5.15 CASE 2-2 FAIRWAY of Incheon bridge ~ Floodgate

Table 5.16과 같이 인천대교 부근해역 통항시의 긴급상황 발생시 VLCC의 선박 조종 시뮬레이션을 수행한 결과, 총 36명의 운항자(인천항 도선사)가 VLCC를 조종하여 인천대교 1마일 전방에서 엔진고장이었을 때 대교 통과 최대속력은 8.7kts, 최소속력 2.9kts였으며 평균속력은 6.3kts였다. 운항자의 개인편차가 심하게 나타났으며, 평균속력 6.3kts 이상을 유지한 경우는 36명 중에 18명(50%)이었으나, 본선 타력과 4,500마력 예인선 2척으로 인천대교의 중앙을 안전하게 통과하여 인근 비상 투묘지까지 이동이 가능한 것으로 평가되었다.

인천대교 2마일 전방에서 엔진고장이었을 때의 결과자료를 분석하면, 총 36명의 운항자중 이 시뮬레이션에 참가한 33명중에 22명(66.67%)은 인천대교를 평균속력 2.8kts로 통과하였으며 본선타력과 Tail Tug 및 예인선으로 인천대교의 중앙을 안전하게 통과하였다. 11명(33.33%)은 인천대교 통과 전 본선 앵커와 Tail Tug를 이용하여 전진타력 및 회두력을 제어하는 비상조치를 취하여 인천대교를 통과하지 않고 선박을 정지시킴으로써 안전성을 확보한 것으로 평가되었다.

Table 5.16 In case of emergency when passing Incheon Bridge

번호	날짜	CASE 2-2	CASE 2-1
		인천대교 1마일 전방에서 엔진고장	인천대교 2마일 전방에서 엔진고장
		통과 SPD (kts)	통과 SPD (kts)
1	11/8	6.1	3.4
2		7.0	5.3
3	11/11	7.3	-
4		6.3	-
5	11/12	7.6	인천대교 통과하지 않고 정지
6		** 2.9	인천대교 통과하지 않고 정지
7	11/14	6.6	인천대교 통과하지 않고 정지
8		5.6	인천대교 통과하지 않고 정지
9	11/15	7.7	2.1
10		6.6	인천대교 통과하지 않고 정지
11	11/18	* 8.7	8.7
12		8.5	인천대교 통과하지 않고 정지
13	11/19	5.7	인천대교 통과하지 않고 정지
14		6.3	인천대교 통과하지 않고 정지
15	11/21	6.4	3.5
16		6.7	3.6
17	11/22	5.9	4.6
18		7.4	인천대교 통과하지 않고 정지
19	11/25	6.7	3.5
20		6.1	6.2
21	11/28	-	4.4
22		4.0	3.4
23	11/29	6.1	3.4
24		6.3	5.5
25	12/2	6.2	2.7
26		5.8	3.4
27	12/3	6.6	인천대교 통과하지 않고 정지
28		5.3	3.2
29	12/5	3.8	3.4
30		3.4	2.5
31	12/6	6.5	2.9
32		7.0	3.6
33	12/12	6.6	4.3
34		6.2	4.2
35	12/13	4.1	-
36		4.7	인천대교 통과하지 않고 정지
평균치		6.3	2.8
표준편차		1.3	1.4

제 6 장 결론

오늘날 선박이 대형화되면서 각 항만은 더 깊은 수심과 넓은 항로폭, 대형화된 항만시설물 등이 필요하며 출입항선 상호간의 간섭이 증가하고 심흘수화로 인한 조종성능의 저하로 비상시 대응책의 한계를 드러내는 등의 선박 안전운용의 문제점도 안고 있다.

인천북항의 경우 지리 위치적인 특성으로 7만 DWT급의 만재상태의 파나막스 정도만 입출항이 가능했으나, 앞으로는 반재(Half loading)한 상태의 VLCC가 입출항할 것으로 판단됨에 따라 입항항로인 동수도 항로 주변 여건을 검토하고, VLCC의 조종특성을 감안한 입출항 안정성을 선박조종 시뮬레이션을 통하여 평가하였다. 입항항로 중 취약수역인 부도 부근해역, 백암등대 부근해역, 북장자서 부근해역, 인천대교, SK돌핀부근 등 5곳을 설정하고 해상교통안전진단에서 규정하고 있는 안전성 평가요소들을 기준으로 인천항 도선사들을 대상으로 실시한 VLCC의 인천항 입출항 선박조종 시뮬레이션의 결과를 활용하여 취약수역 5곳의 근접도와 속력 등을 평가요소로 분석 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 인천항의 동수도 진입항로에서부터 북항의 SK돌핀까지의 항로 중에서 취약수역으로 지정한 부도 부근해역, 백암등대 부근해역, 북장자서 부근해역, 인천대교, SK돌핀부근 등 5곳의 위험기준점에 대한 근접도와 통과속력에 대하여 최대, 최소값 및 평균값과 표준편차 및 충돌확률 등을 해상교통안전진단 규정에서 정하고 있는 안전성 평가기준과 비교하였을 때, 인천대교 통과 및 접이안시 기준을 충족 못한 경우가 일부 있었으나 예선 활용을 감안하면 모두 만족하는 것으로 분석 평가되었다.

둘째, 전체적으로 통항시의 취약수역으로 지정한 5곳에 대한 근접도를 분석평가해 보면, 개인 편차가 아주 크게 나타남을 알 수 있었으며, 가장 좁은 가항수역을 통과시에 선박과 위험기준점과의 이격거리 유지는 우리나라 항만설계기준의 항로크기에서 정하고 있는 편도항해에서의 최소 항로폭의 기준인 1.5L을 기준으로 각 위험구역별로 평가해 보면 다음과 같다.

- 1) 부두등대 부근해역 통항시 최대 이격거리는 3.37L, 최소 이격거리 1.30L이었고 평균 이격거리는 2.42L이었다. 그리고 편도항해의 허용 항로폭 1.5L에 못 미치는 이격거리를 유지한 경우가 운항자 34명 중에 3명(8.8%)이었으며, 개인차 및 통항시의 통과선속 등을 감안할 때 통항시의 항로폭은 대체적으로 만족함으로써 통항 안전성에는 문제가 없는 것으로 판단할 수 있었다.
- 2) 백암등대 부근해역 통항시 최대 이격거리는 2.82L, 최소 이격거리 1.22L이었고 평균 이격거리는 2.07L이었다. 그리고 편도항해의 허용 항로폭 1.5L에 못 미치는 이격거리를 유지한 경우가 운항자 31명 중에 3명(9.7%)이었으며, 개인차 및 통항선속 등을 감안할 때 통항시의 항로폭은 대체적으로 만족함으로써 통항 안전성에는 문제가 없는 것으로 판단할 수 있었다.
- 3) 북장자서 부근해역 통항시 최대 이격거리는 3.36L, 최소 이격거리 0.96L이었고 평균 이격거리는 2.04L이었다. 그리고 편도항해의 허용 항로폭 1.5L에 못 미치는 이격거리를 유지한 경우가 운항자 30명 중에 4명(13.3%)이었으며, 개인차 및 통과선속 등을 감안할 때 통항시의 항로폭은 통항 안전성에는 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단할 수 있었다.
- 4) 인천대교 통과시 주경간의 교각과의 최대 이격거리는 4.29B, 최소 이격거리 1.90B이었고 평균 이격거리는 3.57B였다. 그리고 해상교량 통과시 교각과의 최소 이격거리를 2.0B(116m)로 가정하면 이 이격거리를 유지하지 못한 경우가 운항자 5명 중에 1명(20%)이었으며, 개인차, 통과선속 및 인천대교를 통과 전에는 최소한 1척의 예선을 잡고 통과하게 함으로써 교량의 통항 안전성에는 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단할 수 있었다.
- 5) SK에너지 돌핀부근에서는 진입돌핀 입구의 돌핀 끝단과의 최대 이격거리는 7.4B, 최소 이격거리 0.5B이었고 평균 이격거리는 5.26B였다. 그리고 평균 이격거리 5.3B를 유지하지 못한 경우가 운항자 40명 중에 8명(20%)이었으나, 이 위치에서는 예선을 최소 4척 이상 잡고 접근속력도 3kts이하를 유지함을 감안할 때, 부두 접근조선의 안전성에는 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단할 수 있었다.

셋째, 위험수역으로 설정한 5곳에 대한 통과속력을 분석평가해 보면, 이 수역은 조류가 창조류이거나 또는 낙조류와 같이 동일한 조류상태일지라도 위치에 따라서 각각 유향이 다르고 또한 유속도 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 통과선속도 운항자의 개인편차가 아주 큼을 알 수 있었고, 일반적으로 인천항의 접근항로에서의 권고속력 12kts를 지키고 있으나, VLCC의 조종특성을 고려

하여 다양한 통과선속을 나타내었음을 알 수 있었으며, 각 위험구역별로 통과선속을 평가해 보면 다음과 같다.

- 1) 부두등대 부근해역 통항시의 속력은 최대속력 14.7kts, 최소속력 7.3kts이고 평균속력은 12.68kts였으며, 통과속력을 12kts 이상으로 유지함으로써 횡방향으로의 선체압류를 최소화할 수 있어서 통항안전성 확보에는 큰 문제는 없는 것으로 판단하였다.
- 2) 백암등대 부근해역 통항시의 속력은 최대속력 16.2kts, 최소속력 7.1kts이고 평균속력은 13.5kts였으며, 통과속력을 12kts 이상으로 유지함으로써 통항안전성 평가에는 큰 문제는 없는 것으로 판단하였다.
- 3) 북장자서 부근해역 부근해역 통항시의 속력은 최대속력 16.5kts, 최소속력 9.5kts이고 평균속력은 12.8kts였으며, 통과속력을 12kts 이상으로 유지함으로써 통항안전성 평가에는 문제가 없는 것으로 판단하였다.
- 4) 인천대교 부근해역 통항시의 속력은 인천대교 주경간 교각주변으로 설치되어 있는 충돌방지공의 강도와 파나막스 만재상태에서의 충격력을 고려하여 VLCC의 최대속력을 7kts로 제한하여 운항하도록 하였다. 그래서 실제적인 최대속력 8.6kts, 최소속력 6.5kts이고 평균속력은 7.1kts였다.
- 5) SK에너지 돌핀부근에서는 VLCC의 조종특성을 감안하여 조류는 거의 없는 상태이거나 0.5kts 이하의 상태에서 접안작업이 이루어지도록 미리 ETA를 조정하도록 인천VTS센터와 긴밀한 협조가 필요한 것으로 판단되었다. 돌핀 접안작업 시에는 최소한 4척 이상의 예선의 도움을 받는 조건으로 하였고, 반재한 VLCC의 돌핀접근 선속은 최대속력 3.0kts, 최소속력 0.3kts이고 평균속력은 1.8kts였으며 예선의 도움으로 큰 문제없이 돌핀접안이 가능한 것으로 판단하였다.

넷째, 반재상태의 VLCC가 인천대교를 통과하는 과정에 비상상황이 발생했을 때에 대한 선박조종 시뮬레이션 평가 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 인천대교 2마일 전방 및 1마일 전방에서 엔진고장이 발생되었을 경우에는 가급적 본선 앵커 및 Tail Tug를 이용하여 인천대교 통과 전에 전진타력 및 회두력을 제어하여 선박을 정지시키는 것이 유리하다. 그리고 선박의 전진타력의 제어는 당시의 선박상황 및 기상상황 등 주위환경에 따라 다르지만, 시뮬레이션 조건에서는 약 1마일 정도의 전진거리가 요구되므로 인천대교 전방 1마일 이내에서 비상상황이 발생하였을 경우에는 본선 타력 및 예인력

을 이용하여 대교를 통과하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

- 2) 인천대교 1마일 전방에서 선박엔진이 고장이 난 비상상황을 대비한 선박조종 시뮬레이션 결과, 본선 타력과 4,500마력 예인선 2척으로 인천대교 통과 선속이 4kts를 유지하면서 인천대교의 중앙을 안전하게 통과(가항항로 끝단까지의 이격거리는 약 250m)하여 인근 비상 투묘지까지 안전하게 이동이 가능하다는 평가 결과를 얻었다.
- 3) 인천대교 약 2마일 전방에서 타각 좌현 15도 사용 중에 조타기 고장이 발생하였을 경우, Tail Tug를 사용하여 전진타력을 제어하면서 가능한 한 빠른 시간에 본선의 후진엔진을 사용한 결과 선박의 전진타력은 약 1마일 전진한 후에 제어 가능하였다. 또한, 선수 우현에 배치된 Escort Tug를 이용하여 선체 우회두를 유도한 결과, 선박은 기존 침로에서 좌편향하는 양이 그다지 많지 않았으며, 선속이 약 4~5kts로 감속된 이후에는 선체 회두제어가 용이하였다. 따라서 상기의 거리 정도에서 조타기 고장만 발생하였을 경우에는 대교 통과 전에 본선을 제어하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

다섯째, 선박조종 시뮬레이션 결과와 선박 조종자들의 의견을 수렴하여 VLCC 선박의 인천북항 입출항시 안전항행을 유지하기 위하여 다음과 같이 제안하고자 한다.

- 1) 초대형선의 안전한 입출항 및 접이안 작업을 위해서는 필히 정조에 맞추어 입·출항을 해야 한다.
- 2) 안전통항을 위해 항만설계기준에 맞는 이격거리와 속력을 유지하여 운항한다.
- 3) 인천항VTS의 적극적인 관제가 필요하고, 특히 취락수역에서 무리한 추월을 금지시키고, 북항 입구쪽에서 선박교항이 일어나지 않게 선박통항 조절이 필요하며, 인천대교 통항 시에는 VLCC 단독통항이 될 수 있도록 통제해야 한다.

본 연구에서는 VLCC선박의 통항 조종상태를 시뮬레이터 상의 가상공간에서 구현한 자료들을 기초로 평가하여 통항안전성의 표준을 제시하지만, 이것이 절대적 기준이 될 수 없는 분명한 한계를 지닌다고 말할 수 있다. 따라서 이 연구의 내용이 미래에 발생하게 될지도 모를 유사한 선박의 조종사고에 대한 과실유무를 판단하는

근거로 사용될 수는 없을 것으로 판단된다. 실제적으로 선박의 도선작업은 매우 주관적인 작업으로서 정형화, 표준화 및 수치화하는 데에는 여러 가지 어려움이 따른다. 원초적으로 인간은 변화성을 추구하는 특성을 갖고 있기 때문에 한 사람의 조선자에 의하여 동일한 조건에서 수행한 수십 번의 선박조종 중 어느 경우에도 그 결과값이 완전히 일치한 경우가 없다는 것은 익히 알려진 사실이다. 그러므로 본 연구에서 분석 평가한 자료들은 많은 결과의 평균치로서 하나의 정형을 보여줄 수 있다고 본다. 따라서 차후 실제적으로 VLCC를 인천북항에 투입함에 있어서 이 분석자료가 유용하게 활용될 수 있었으면 하는 바램이다.

이를 바탕으로 향후 실제 VLCC의 입출항시 실제의 결과치를 상호 비교해 보고 통항 안전성을 위한 더 많은 의견을 제시할 수 있으리라 기대된다.

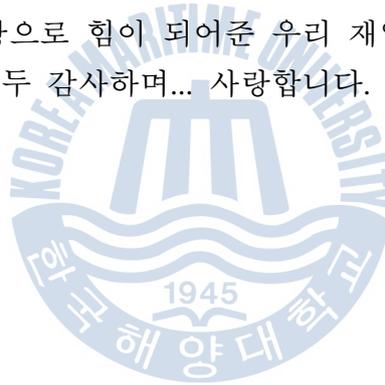


감사의 글

늦게 시작한 공부에 마침표 하나 찍고 다시 나아갈 수 있도록 격려와 용기를 주신 많은 분들께 감사드립니다.

특히, 부족한 늦깎이 제자를 받아주시고 따뜻한 격려와 지도로 힘을 주신 김세원 지도 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 부족한 논문의 심사 위원장을 맡아 격려와 조언을 아끼지 않으신 박영수 교수님과 바쁘신 와중에도 심사를 맡아주신 이윤석 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

그리고 항상 아낌없는 사랑으로 힘이 되어준 우리 재영이를 포함한 가족, 친구, 언니, 동생들에게도 모두모두 감사하며... 사랑합니다.



2006년 6월 20일

참고문헌

- [1] 윤점동, 선박조종의 이론과 실무(조종론), 세종출판사. 2008
- [2] 윤점동, VLCC조종의 이론과 실무, 세종출판사. 2002
- [3] 김세원, 문성배, 선체구조정비론, 다솜출판사. 2009
- [4] SK에너지/인천CLX 제3부두 접안능력 증대사업 해상교통안전진단, 목포해양대학교, 2013
- [5] 인천항 도선사 특별 연수과정의 시뮬레이션, 한국해양대학교, 2013
- [6] 동북아 오일허브 울산지역 해상교통안전진단, 한국해양대학교, 2011
- [7] 항만기본계획 변경에 따른 울산신항개발 해상교통안전진단, 한국해양대학교, 2013
- [8] 여수탱크터미널 해상교통안전진단 보고서, 목포해양대학교, 2010
- [9] 공인영, 여천항에서 32만DWT급 원유원반선의 선박운항 안전성 평가, 해양환경안전학회, 1997
- [10] 정재용, 선박조종시뮬레이터를 이용한 울산항 원유부이시설의 안전성평가에 관한 연구, 한국시뮬레이션학회, 2002
- [11] 기상청 홈페이지(www.kma.go.kr)
- [12] 인천항만공사 홈페이지(www.icpa.or.kr)
- [13] 나의 문화유산답사기 블로그 (<http://younghwan12.tistory.com>)